

53
2181

М. ИСМОИЛОВ, М. Г. ХАЛИУЛИН

ЭЛЕМЕНТАР ФИЗИКА МАСАЛАЛАРИ

*Ўзбекистон Республикаси Халқ таълими вазирлиги
ўрта мактаб, ўрта махсус ва ҳунар-техника билим
юртлари, олий ўқув юртларининг тайёрлов бўлимлари
учун қўлланма сифатида руҳсат этган*

ЧИТАЛЬНЫЙ ЗАЛ

O'QUV ZALI

✓ дур
2032173

ТОШКЕНТ „ЎҚИТУВЧИ“ 1953

Тақризчилар: физика-математика фанлари доктори, профессор К. М. Му-
қимов.
Физика-математика фанлари номзодлари Ш. О. Отажонов,
Б. Ж. Йўлдошев.

Ушбу қўлланма олий ўқув юртларига кирувчилар учун мўлжалланган. Шунингдек китоб ўрта мактаб, ўрта махсус ҳамда ҳунар-техника билим юртлари ўқувчилари учун ҳам элементар физика масалаларини ечиш билим ва малакаларини ҳосил қилишда қимматли дастуриламал бўлади. Ҳар бир бобда берилган назарий материал эса тест бўйича тайёрланувчи абитуриентлар учун қўл келади.

Қўлланмада физикавий масалаларни ечишнинг қизиқарли, содда ва қулай усуллари келтирилган, унга кўплаб ҳаётий ва қизиқарли масалалар киритилган.



И 4306011200—75
353(04)—93 39—91
ISBN 5—645—01368—9

© „Ўқитувчи“ нашриёти, Т., 1993 й.

СЎЗ БОШИ

Ўқув жараёнида мантиқий хулосалар, математик амаллар ва физик қонун-қоидалар асосида ечиладиган муаммога физик масала дейилади. Аслида физика дарсида ўқув материални ўрганиш билан боғлиқ бўлган ечиладиган жумбоқ ўқувчилар учун масала бўлади. Масалалар ечишни ўрганиш ўқувчиларнинг ақлий ривожланишига имкон беради, мантиқий тафаккур, хотира, диққат ва идрокнинг ўсишига ёрдам беради.

Масалаларни еча олишлик физика фанини ўрганиш ва ўзлаштиришнинг асосий мезонидир. Масалалар ечиш жараёнида ўқувчилар табиат, техника ва турмушдаги турли физик ҳодисаларни таҳлил қилишда ўз билимларини қўллаш учун билим ва малака ҳосил қиладилар, жумладан: чизмалар, расмлар, графиклар чизиш, ҳисоблашларни бажариш, маълумотнома (справочник) дан фойдаланиш, экспериментал масалаларни ечишда асбоб-ускуналардан фойдаланиш учун билим ва малакалар ҳосил қиладилар.

Ушбу қўлланмада ўқувчиларнинг физикавий тафаккурини шакллантирадиган, уларга амалий билим ва малакалар берадиган, вақтларини тежайдиган намунавий масалаларни ечишнинг энг умумий ҳамда муҳим усуллари билан таништириш асосий мақсад қилиб қўйилган.

Китобнинг ҳар бир бобида унга тегишли параграф масалаларини ечиш учун зарур бўлган қонун ва қоидалар таърифи ҳамда формулаларини ифодаловчи қисқача назарий маълумотлар берилган. Бобнинг ҳар бир параграфида уч-тўртта намунавий масалаларни ечиш тартиби, батафсил таҳлили ва изоҳли ечимлари келтирилган. Шунингдек, параграф мавзунининг ҳажмига қараб мустақил ечиш учун ўн-ўн бешта масала ва уларнинг изоҳсиз ечимлари ҳамда „СИ“ системасидаги жавоблари берилган.

Муаллифлар қўлланманинг дастлабки нусхасини ўқиб чиқиб, унинг сифатини яхшилаш учун ўз фикр ва мулоҳазаларини билдирган Тошкент электротехника ва алоқа институтининг доцентлари И. Султонов, Қ. Ҳайдаров, Ҳ. Тоҳиржоновларга ва камчиликларини бартараф этишда катта ёрдам берган Низомий

номидаги Тошкент Давлат педагогика институтининг ўқитиш методикаси кафедраси, Абу Райҳон Беруний номидаги Тошкент политехника институтининг 2-физика кафедраси, Тошкент автомобиль транспорти ва йўллар институтининг физика кафедраси ходимларига ҳамда Шайхон тоҳур ва Юнусобод ноҳиясидаги бир қатор мактабларнинг физика ўқитувчиларига ўз миннатдорчиликларини билдирадилар.

Китоб ҳақидаги фикр ва мулоҳазаларингизни қуйидаги манзилгоҳга юборишингиз мумкин: Тошкент—700129, Навоий кўчаси 30-уй, „Ўқитувчи“ нашриёти, физика-математика адабиёти муҳарририяти.

ФИЗИК МАСАЛА ҚАНДАЙ ЕЧИЛАДИ?

Масала ечиш—номаълум физик катталиқни масала шартда берилган катталиқлар орқали ифодаланган ишчи формулани чиқариб, масала шартда берилган катталиқларнинг („СИ“ системасидаги) сон қийматларини ўрнига қўйиб ҳисоблашдан иборат.

Ҳар қандай масалани ечишдан олдин ўрта мактаб учун тавсия этилган дарсликдан ёки қўлланмалардан тегишли параграфларни ўқиш, асосий қонун-қоида ва формулаларни ўрганиш шарт.

Зарур бўлган назарий ва амалий билимни олгач, китобда изоҳли ечими келтирилган масалалар билан муфассал танишиб чиқиш лозим. Шундан кейин мустақил ечишга тавсия қилинган масалаларни ечишга киришилади.

Масалаларни Халқаро бирликлар системаси „СИ“ да ечиш тавсия қилинади. Тўғри ечилганда масаланинг жавоби ва бирлиги келиб чиқади. Акс ҳолда масала нотўғри ечилган бўлади.

Масалаларни ечишда қуйидаги методик кўрсатмаларга амал қилиш лозим:

1. Масаланинг шarti бир неча марта ўқиб чиқилади ва у физиканинг қайси бўлимига тегишли эканлиги аниқланади.
2. Масаланинг мазмунини тушуниб, масала шартда берилган катталиқларни „СИ“ системасида ифодалаб, топиллиши керак бўлган катталиқ ёзилади.
3. Масаланинг шартига мос келадиган чизма чизилади.
4. Масала ечишдан олдин унинг шартда қандай физик қонуниятлар ётганлиги аниқланади.
5. Масалани умумий кўринишда ечиш учун кетма-кетлик усули асосида масала шартдаги номаълум катталиқларни бошқа маълум катталиқлар билан боғловчи ишчи формулалар топилади. Агар ҳосил қилинган ишчи формулалар тўғри бўлса, масала жавобидаги изоҳсиз ечим билан бир хил кўринишда бўлади.

6. Нативавий ишчи формулага катталикларнинг „СИ“ сис-те масидаги сон қийматларини қўйиб, ҳисоблаш ишлари ба-жарилса, масаланинг жавоби келиб чиқади

7. Айрим ҳолларда барча берилган катталикларнинг қий-матларини битта системанинг ўзида ифодалашнинг ҳожати бўлмай қолади. Масалан, ишчи формуладаги катталиклар су-рат ва махражда кўлайтмадан иборат булганда бу каттали-кларнинг қайси бирликда ифодаланишидан қатъи назар уларнинг ўлчов бирлиги бир хил бўлиши кифоядир

8. Масаланинг жавобини чиқаришда охириги натижанинг аниқлик даражасига аҳамият бериш керак. Бунда жавобнинг аниқлиги масала шартида берилган катталикларнинг аниқлиги-дан ошмаслиги лозим.

9. Масалани ечиш давомида қўллан илаётган ҳар бир қонун, қоида, формула ва физик катталиклар қисқача изоҳлаб бори-лади.

Масалаларни ечишдаги қўшимча адабиёт сифатида қуйи-дагилардан фойдаланишингиз мумкин.

1. А. В. Пёришкин, Н. А. Родина. Физика-7, „Ўқитувчи“, Т., 1990.

2. А. В. Пёришкин, И. А. Родина. Физика-8, „Ўқитувчи“, Т., 1990.

3. И. К. Кикоин, А. К. Кикоин. Физика-9, „Ўқитувчи“, Т., 1991.

4. Б. Б. Буховцев, Ю. А. Климонтович, Г. Я. Мякишев. Физика-10, „Ўқитувчи“, Т., 1991.

5. Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев. Физика-11, „Ўқитувчи“, Т., 1989.

6. М. Исмоилов, М. С. Юнусов. Элементар физика курси. Олий ўқув юр்தларига кирувчилар учун справочник-қўлланма. Тошкент, „Ўқитувчи“, 1990.

Биринчи қисм

МЕХАНИКА

1-боб. КИНЕМАТИКАНИНГ ФИЗИК АСОСЛАРИ

● Ҳаракатланаётган моддий нуқта (қаттиқ жисмнинг масса маркази) ҳаракатининг кинематик тенгламаси ҳаракатнинг радиус-вектори \vec{r} ёки ўтилган йўли s нинг функциясидан иборат:

$$\vec{r} = \vec{r}(t) \quad \text{ёки} \quad s = s(t). \quad (1.1)$$

● Баробар вақтлар оралиқларида ҳар хил масофани ўтган ўзгарувчан ҳаракат ўртача тезлик $\vec{v}_{\text{ўр}}$, ўртача тезланиш $\vec{a}_{\text{ўр}}$, оний тезлик \vec{v} ва оний тезланиш \vec{a} лар билан характерланади:

$$\vec{v}_{\text{ўр}} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \quad \text{ёки} \quad v_{\text{ўр}} = \frac{\Delta s}{\Delta t}. \quad (1.2)$$

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt}, \quad v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}, \quad (1.2a)$$

$$\vec{a}_{\text{ўр}} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \quad \text{ёки} \quad a_{\text{ўр}} = \frac{\Delta v}{\Delta t}, \quad (1.3)$$

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$$

ёки

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2}. \quad (1.3a)$$

● Баробар вақтлар оралиғида бир хил масофани ўтган тўғри чизиқли текис ҳаракат тезлик v билан характерланади:

$$v = \frac{s}{t}; \quad s = vt. \quad (1.4)$$

Тезлик деб вақт бирлиги ичида ўтилган йўлга тенг бўлган физик катталиққа айтилади.

● Баробар вақтлар оралиғида тезлигининг ўзгариши дои-



1.1- расм

мий қолган тўғри чизиқли текис ўзгарувчан ҳаракатнинг тезланиши қуйидагига тенгдир:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v}_t - \vec{v}_0}{t} \quad (1.4a)$$

Тезланиш деб вақт бирлиги ичида тезликнинг ўзгаришига миқдор жиҳатдан тенг бўлган физик катталиққа айтилади.

● Тўғри чизиқли текис ўзгарувчан ҳаракатнинг оний тезлиги v_t ва босиб ўтилган масофаси s :

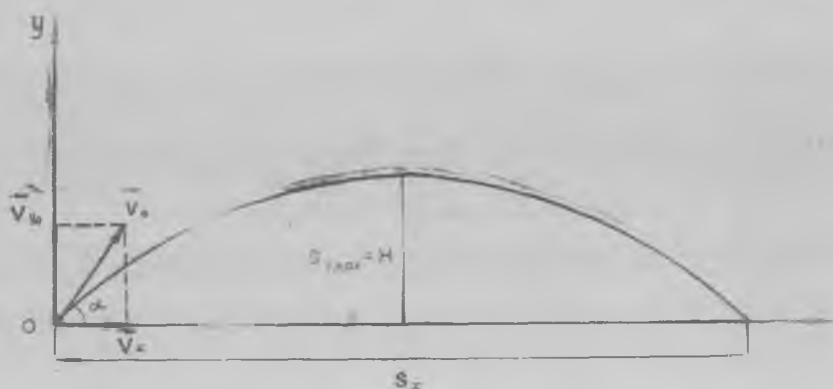
$$v_t = v_0 + at; \quad s = v_0 t + \frac{at^2}{2}; \quad s = \frac{v_t^2 - v_0^2}{2a} \quad (1.4b)$$

● *Эркин тушиш*—жисмларнинг Ернинг тортишиш кучи таъсиридаги (ҳавосиз муҳитдаги) ҳаракати бўлиб, текис ўзгарувчан ҳаракатдир. Бинобарин, текис ўзгарувчан ҳаракат тенгламаларида тезланиш a ни эркин тушиш тезланиши $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ билан ва йўл s ни баландлик h билан алмаштирилса, эркин тушиш учун қуйидаги тенгламалар келиб чиқади:

$$\left. \begin{aligned} g &= \frac{v_t - v_0}{t}; \quad v_t = v_0 + gt; \\ h &= v_0 t + \frac{gt^2}{2}; \quad h = \frac{v_t^2 - v_0^2}{2g} \end{aligned} \right\} \quad (1.5)$$

● Эгри чизиқли ҳаракатга мисол тариқасида горизонтал ва горизонтга қиялатиб отилган жисмнинг ҳаракатини кўриб чиқамиз:

1. Жисм h баландликдан v_x тезлик билан горизонтал йўналишда отилса, у параболадан иборат эгри чизиқ бўйлаб ҳаракатланади (1.1-расм). Агар жисмнинг Ерга тушиш вақти t бўлса, тезлигининг горизонтал ташкил этувчиси v_x ўзгармас бўлиб, бошланғич тезликсиз ($v_{y_0} = 0$) эркин тушишда олган тез-



1.2- расм

лигининг вертикал ташкил этувчиси v_y , тушиш баландлиги h ва горизонтал ўтган йўли s қуйидагига тенг бўлади:

$$v_y = gt, \quad h = \frac{gt^2}{2}, \quad s = v_x \cdot t. \quad (1.6)$$

1.1-расмдаги чизмадан жисмнинг t вақтдан кейинги тезлиги v ва жисм траекториясининг Ер сирти билан ҳосил қилган бурчаги α қуйидагига тенг бўлади:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_x^2 + g^2 t^2}; \quad (1.7)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_y}{v_x} = \frac{g \cdot t}{v_x}; \quad \text{бундан } \alpha = \operatorname{arctg} \frac{gt}{v_x}. \quad (1.8)$$

2. Горизонтга α бурчак остида қиялатиб v_0 тезлик билан отилган жисмнинг ҳаракат траекторияси ҳам параболадан иборат бўлади (1.2- расм). Чизмадан:

$$v_x = v_0 \cos \alpha; \quad v_y = v_0 \sin \alpha. \quad (1.9)$$

Жисмнинг ҳаракатланиш вақти t , кўтарилиш баландлиги h ва горизонтал учиш масофаси s қуйидагига тенг бўлади:

$$t = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}; \quad h = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}; \quad s = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}. \quad (1.10)$$

● *Текис айланма ҳаракат* деб, баробар вақтлар оралиғида радиуснинг бурилиш бурчаги ўзгармай қоладиган ҳаракатга айтилиб, радиуснинг айланиш даври T , айланиш частотаси ν , унинг бурчакли тезлиги ω ва бурчак масофаси φ қуйидагиларга тенг:

$$T = \frac{t}{N}; \quad \nu = \frac{N}{t}; \quad T = \frac{1}{\nu};$$

$$\omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu; \quad \varphi = 2\pi N, \quad (1.11)$$

бунда t —айланиш вақти, N —айланишлар сони.

Текис айланма ҳаракатда марказга интилма тезланиш:

$$a_{\text{н.н}} = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R = \frac{4\pi^2}{T^2} R = 4\pi^2 \nu^2 R, \quad (1.12)$$

бунда v —чизиқли тезлик, ω —бурчакли тезлик.

1-§. ТҶҒРИ ЧИЗИҚЛИ ТЕКИС ҲАРАКАТ.

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. $v = 720$ км/соат тезлик билан учаётган ИЛ-86 аэробуси Тошкентдан Москвагача бўлган $s = 3000$ км масофани қанча t вақтда учиб ўтади?

Берилган: $s = 3000$ км $= 3 \cdot 10^6$ м; $v = 720$ км/соат $= 200$ м/с.

Топиш керак: $t = ?$

Ечилиши: Тўғри чизиқли текис ҳаракатнинг тенгламаси $s = vt$ дан вақт t қуйидагига тенг бўлади:

$$t = \frac{s}{v} = \frac{3 \cdot 10^6 \text{ м}}{200 \text{ м/с}} = 1,5 \cdot 10^4 \text{ с} \approx 4 \text{ соат } 10 \text{ мин.}$$

Жавоб: $t = 4$ соат 10 мин. да.

2-масала. Автомобиль ва велосипедчи бир-бирига қараб текис ҳаракатланаётганда улар орасидаги масофа ҳар $t_1 = 3$ с давомида $s_1 = 60$ м га камая боради. Агар улар аввалги тезлиги билан бир томонга ҳаракатланса, улар орасидаги масофа ҳар $t_2 = 4$ с давомида $s_2 = 40$ м дан узоқлаша боради. Автомобиль ва велосипедчининг тезликлари v_1 ва v_2 лар топилсин.

Берилган: $t_1 = 3$ с, $s_1 = 60$ м; $t_2 = 4$ с; $s_2 = 40$ м.

Топиш керак: $v_1 = ?$ $v_2 = ?$

Ечилиши: Автомобиль ва велосипедчи бир-бирига қараб ҳаракатланганда, уларнинг ўзаро нисбий тезлиги:

$$u_1 = v_1 + v_2$$

булади, бу ерда v_1 —автомобилнинг тезлиги; v_2 —велосипедчининг тезлиги. Улар бир томонга ҳаракатлангандаги ўзаро нисбий тезлиги эса қуйидагига тенг бўлади:

$$u_2 = v_1 - v_2.$$

Масаланинг шартига биноан u_1 ва u_2 нисбий тезликларнинг қийматлари $u_1 = \frac{s_1}{t_1}$ ва $u_2 = \frac{s_2}{t_2}$ ни юқоридаги ўрнига қўйилса,

$$\frac{s_1}{t_1} = v_1 + v_2,$$

$$\frac{s_2}{t_2} = v_1 - v_2.$$

Бу икки номаълумли иккита тенгламалар системасини ечиб, ундан изланаётган v_1 ва v_2 тезликларни топамиз:

$$v_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{s_1}{t_1} + \frac{s_2}{t_2} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{60\text{м}}{3\text{с}} + \frac{40\text{м}}{4\text{с}} \right) = \frac{1}{2} \left(20 \frac{\text{м}}{\text{с}} + 10 \frac{\text{м}}{\text{с}} \right) = \frac{30\text{м/с}}{2} = 15 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 54 \text{ км/соат};$$

$$v_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{s_1}{t_1} - \frac{s_2}{t_2} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{60\text{м}}{3\text{с}} - \frac{40\text{м}}{4\text{с}} \right) = \frac{1}{2} \left(20 \frac{\text{м}}{\text{с}} - 10 \frac{\text{м}}{\text{с}} \right) = \frac{10\text{м/с}}{2} = 5 \text{ м/с} = 18 \text{ км/соат}.$$

Жавоб: Автомобиль ва велосипедчининг тезликлари мос равишда $v_1 = 54$ км/соат ва $v_2 = 18$ км/соат.

3-масала. Узунлиги $l_1 = 1,2$ км, тезлиги $v_1 = 54$ км/соат бўлган юк поезда ва узунлиги $l_2 = 150$ м, тезлиги $v_2 = 108$ км/соат бўлган электропоезд иккита параллел йўлдан кетаётган бўлса, электропоезд юк поездини қанча t вақтда қувиб ўтади?

Берилган: $l_1 = 1,2$ км = 1200 м, $v_1 = 54 \frac{\text{км}}{\text{соат}} = 15$ м/с; $l_2 = 150$ м, $v_2 = 108$ км/соат = 30 м/с

Топиш керак: $t = ?$

Ечилиши: Электропоезднинг юк поездига нисбатан тезлиги $u = v_2 - v_1$ бўлади.

Агар вақтнинг бошланишини қувиб ўтиш моментидан ҳисобланса, электропоезд юк поездини қувиб ўтиш учун u нисбий тезлик билан икки поезднинг узунлиги $l = l_1 + l_2$ ни ўтиши керак, яъни:

$$t = \frac{l}{u} = \frac{l_1 + l_2}{v_2 - v_1} = \frac{1200\text{м} + 150\text{м}}{30 \frac{\text{м}}{\text{с}} - 15 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = \frac{1350\text{м}}{15 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = 90 \text{ с} = 1,5 \text{ мин}.$$

Жавоб: Электропоезд юк поездини $t = 1,5$ мин. да қувиб ўтади.

Мустақил ечиш учун масалалар

1.1. Қуёш атрофида $v = 30$ км/с тезлик билан ҳаракат қилаётган Ер 1 суткада қанча s масофани ўтади?

Жавоб: $s = v t = 2592000$ км.

1.2. Агар радиотўлқинларининг ҳавода тарқалиш тезлиги $v_1 = 300000$ км/с ва товушнинг ҳавода тарқалиш тезлиги $v_2 = 340$ м/с бўлса, Москвада микрофон олдида сўзлаётган кишининг овози ундан $s_2 = 50$ м нарида ўтирган одамга олдин эшитиладими ёки $s_1 = 3000$ км масофада Тошкентда репродуктор олдида турган радио тингловчига олдин эшитиладими?

Жавоб: Радио тингловчи $\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{s_2}{v_2} - \frac{s_1}{v_1} = 0,137$ с олдин эшитади.

1.3. Тезликлари мос равишда $v_1=250$ км/соат ва $v_2=720$ км/соат бўлган ТУ-144 самолёти ва ИЛ-86 аэробуси бир вақтда Москвадан Тошкентга қараб учган. Москва билан Тошкент оралиғи $s=3000$ км га тенг. ТУ-144 самолёти Тошкентга аэробусдан қанча олдин етиб келади?

Жавоб: $\Delta t = t_2 - t_1 = s \frac{v_1 - v_2}{v_1 \cdot v_2} = 2,8$ соат.

1.4. Икки поезд бир-бирига қараб $v_1=54$ км/соат ва $v_2=72$ км/соат тезлик билан ҳаракатланмоқда. Биринчи поезддаги пассажирнинг ҳисобича иккинчи поезд унинг ёнидан $t_2=4$ с давомида ўтган. Иккинчи поезднинг узунлигини топинг?

Жавоб: $l_2 = (v_1 + v_2)t_2 = 140$ м.

1.5. Метро эскалатори $v_1=0,8$ м/с тезлик билан ҳаракатланмоқда. Агар одам эскалаторга боғланган санок системасида эскалатор ҳаракати йўналишида $v_2=0,2$ м/с тезлик билан юриб бораётган бўлса, у Ерга нисбатан $s=25$ м масофани қанча t вақтда ўтади?

Жавоб: $t = \frac{s}{v_1 + v_2} = 25$ с.

1.6. Метро эскалатори ҳаракатланмай турган кишини $t_1=30$ с давомида юқорига олиб чиқади. Ҳаракатланмаётган эскалатордан эса киши $t_2=2$ мин. да юқорига чиқади. Киши ҳаракатланаётган эскалаторда юриб қанча t вақтда юқорига кўтарилади?

Жавоб: $t = \frac{t_1 \cdot t_2}{t_1 + t_2} = 24$ с.

1.7. Узунлиги $l=300$ м бўлган теплоход v_1 тезлик билан текис ҳаракатланмоқда. Тезлиги $v_2=72$ км/соат бўлган катер ҳаракатдаги теплоходнинг қуйруғидан тумшугигача бориши ва шу масофани қайтиб ўтиши учун $t=36$ с вақт сарф қилган бўлса, теплоходнинг тезлиги v_1 ни топинг.

Жавоб: $v_1 = v_2 \sqrt{1 - \frac{2l}{v_2 t}} = 8,16$ м/с.

1.8. Бир-биридан $s=100$ км масофада жойлашган икки шаҳар орасида дарё бўйлаб катер қатнайди. Катер дарё оқими бўйича сузганда бу масофани $t_1=4$ соатда, оқимга қарши йўналишда эса $t_2=10$ соатда сузиб ўтади, дарё оқимининг тезлиги v_0 ва катернинг сувга нисбатан тезлиги v ни топинг.

Жавоб: $v_0 = \frac{s(t_2 - t_1)}{2t_1 \cdot t_2} = 7,5$ км/соат; $v = \frac{s(t_2 + t_1)}{2t_1 \cdot t_2} = 17,5$ км/соат.

1.9. Икки параллел темир йўлдан узунлиги $l_1=480$ м, тезлиги $v_1=54$ км/соат бўлган юк поездеи ва узунлиги $l_2=120$ м, тезлиги $v_2=108$ км/соат бўлган пассажир поездеи ҳаракатлан-

моқда. Улар бир томонга ва қарама-қарши томонга ҳаракатланаётган бўлса, ҳаракатнинг мос равишда u_1 ва u_2 нисбий тезликлари қандай бўлади? Қанча t_1 ва t_2 вақтлар давомида бир поезд иккинчи поезд ёнидан ўтади?

$$\text{Жавоб: } u_1 = v_2 - v_1 = 15 \text{ м/с; } t_1 = \frac{l_1 + l_2}{v_2 - v_1} = 40 \text{ с;}$$

$$u_2 = v_2 + v_1 = 45 \text{ м/с; } t_2 = \frac{l_1 + l_2}{v_1 + v_2} = 13,3 \text{ с.}$$

1.10. Кўриш сезгиси $t_0 = 0,1$ с давомида сақланадиган бўлса, $v_1 = 72$ км/соат тезлик билан кетаётган поезддаги йўловчи $v_2 = 54$ км/соат тезлик билан қарши томондан келаётган поезд вагонларини санаб улгура оладими? Ҳар бир вагоннинг узунлигини $l = 20$ м дан деб ҳисобланг.

$$\text{Жавоб: } t = \frac{l}{v_1 + v_2} = 0,57 \text{ с} > t_0 \text{ — санашга улгура олади.}$$

1.11. Қуёшдан Ергача бўлган масофа $s_1 = 1,5 \cdot 10^8$ км, Ойдан Ергача бўлган масофа эса $s_2 = 3,8 \cdot 10^5$ км. Ёруғлик нури Қуёшдан Ергача қанча t_1 вақтда ва Ойдан Ерга қанча t_2 вақтда етиб келади? Ёруғликнинг тарқалиш тезлиги $v = 3 \cdot 10^8$ м/с.

$$\text{Жавоб: } t_1 = \frac{s_1}{v} = 500 \text{ с} = 8,33 \text{ мин; } t_2 = \frac{s_2}{v} = 1,3 \text{ с.}$$

1.12. Теплоходнинг қирғоққа нисбатан ҳаракат тезлиги оқим йўналишида $u_1 = 36$ км/соат, оқимга қарши йўналишда эса $u_2 = 28,8$ км/соат бўлса, теплоходнинг сувга нисбатан тезлиги v ни ва оқимнинг қирғоққа нисбатан тезлиги v_0 ни топинг.

$$\text{Жавоб: } v = \frac{u_1 + u_2}{2} = 5 \text{ м/с; } v_0 = \frac{u_1 - u_2}{2} = 1 \text{ м/с.}$$

1.13. $v_0 = 1$ м/с тезлик билан оқаётган дарёда сувга нисбатан $v = 18$ км/соат тезлик билан ҳаракатланаётган катернинг қуйидаги ҳоллардаги қирғоққа нисбатан тезлигини топинг: 1) оқим бўйича сузгандаги u_1 ; 2) оқимга қарши сузгандаги u_2 ; 3) оқимга тик сузгандаги u_3 .

$$\text{Жавоб: } u_1 = v + v_0 = 6 \text{ м/с; } u_2 = v - v_0 = 4 \text{ м/с;}$$

$$u_3 = \sqrt{v^2 + v_0^2} = 5,1 \text{ м/с.}$$

1.14. Катер дарё оқимида тик равишда сувга боғланган саноқ системасида $v = 4$ м/с тезлик билан ҳаракатланмоқда. Агар дарёнинг кенглиги $h = 800$ м, сувнинг тезлиги эса $v_0 = 1$ м/с бўлса, катер оқим бўйича қанча s масофани сузиб ўтади?

$$\text{Жавоб: } s = v_0 t = v_0 \frac{h}{v} = 200 \text{ м.}$$

2-§. ЎЗГАРУВЧАН ҲАРАКАТДАГИ ЎРТАЧА ТЕЗЛИК

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Станциядан йўлга чиққан электропоезд биринчи $t_1=2$ соатда $s_1=72$ км масофани, иккинчи $t_2=1$ соатда $s_2=54$ км масофани ва охириги $t_3=2$ соатда эса $s_3=36$ км масофани ўтиб тўхтаган бўлса, йўлнинг ҳар бир қисмидаги $v_{ўрт}$, $v_{ўрт}$, $v_{ўрт}$ ўртача тезликлар ва бутун йўлдаги $v_{ўрт}$ тезликини топинг.

Берилган: $t_1=2$ соат $=7,2 \cdot 10^3$ с; $s_1=72$ км $=72 \cdot 10^3$ м; $t_2=1$ соат $=3,6 \cdot 10^3$ с; $s_2=54$ км $=54 \cdot 10^3$ м; $t_3=2$ соат $=7,2 \cdot 10^3$ с; $s_3=36$ км $=36 \cdot 10^3$ м.

Топиш керак: $v_{ўрт}^I=?$ $v_{ўрт}^{II}=?$ $v_{ўрт}^{III}=?$ $v_{ўрт}=?$

Ечилиши: Жисм ҳаракатининг ўртача тезлиги ўтилган йўл s ни, уни ўтиш учун кетган вақт t га бўлган нисбатига тенгдир, яъни $v_{ўрт} = \frac{s}{t}$. Шунинг учун ҳам топилиши керак бўлган тезликлар қуйидагича аниқланади:

$$v_{ўрт}^I = \frac{s_1}{t_1} = \frac{72 \cdot 10^3 \text{ м}}{7,2 \cdot 10^3 \text{ с}} = 10 \text{ м/с.}$$

$$v_{ўрт}^{II} = \frac{s_2}{t_2} = \frac{54 \cdot 10^3 \text{ м}}{3,6 \cdot 10^3 \text{ с}} = 15 \text{ м/с.}$$

$$v_{ўрт}^{III} = \frac{s_3}{t_3} = \frac{36 \cdot 10^3 \text{ м}}{7,2 \cdot 10^3 \text{ с}} = 5 \text{ м/с.}$$

Бутун йўл бўйича ўртача тезлик: $v_{ўрт} = \frac{s_1 + s_2 + s_3}{t_1 + t_2 + t_3} =$
 $= \frac{72 \cdot 10^3 \text{ м} + 54 \cdot 10^3 \text{ м} + 36 \cdot 10^3 \text{ м}}{7,2 \cdot 10^3 \text{ с} + 3,6 \cdot 10^3 \text{ с} + 7,2 \cdot 10^3 \text{ с}} = \frac{162 \cdot 10^3 \text{ м}}{18 \cdot 10^3 \text{ с}} = 9 \text{ м/с.}$

Жавоб: $v_{ўрт}^I = 10$ м/с, $v_{ўрт}^{II} = 15$ м/с, $v_{ўрт}^{III} = 5$ м/с, $v_{ўрт} = 9$ м/с.

Эслатма. Ўртача тезлики йўлнинг алоҳида қисмларидаги тезликлар қийматларининг ўртача арифметик қиймати сифатида аниқлаш мумкин эмас. Йўлнинг алоҳида қисмларида турли тезликлар билан ҳаракатланиш вақти тенг бўлган ҳоллардагина ўртача тезликини ўртача арифметик қиймат сифатида аниқлаш мумкин.

2-масала. Автомобиль ҳаракатланиш вақти t нинг биринчи ярми ($t_1=t/2$) да $v_1=72$ км/соат тезлик билан, иккинчи ярми ($t_2=t/2$) да эса $v_2=43,2$ км/соат тезлик билан ҳаракатланган бўлса, ҳаракатнинг ўртача тезлиги $v_{ўрт}$ ни топинг.

Берилган: $t_1=t/2$; $v_1=72$ км/соат $=20$ м/с; $t_2=t/2$; $v_2=43,2$ км/соат $=12$ м/с.

Топиш керак: $v_{ўрт}=?$

Ечилиши: Ўртача тезлик таърифига биноан автомобилнинг ўртача тезлиги қуйидагига тенг: $v_{ўрт} = \frac{s_1 + s_2}{t}$, бунда $s_1 = v_1 t_1 =$

$=v_1 \frac{t}{2}$ автомобилнинг ҳаракатланиш вақтининг биринчи ярмида ўтган йўли, $s_2 = v_2 t_2 = v_2 \frac{t}{2}$ эса иккинчи ярмида ўтилган йўл. У ҳолда бутун вақт давомидаги ўртача тезлик қуйидагига тенг бўлади:

$$v_{\text{ўрт}} = \frac{s_1 + s_2}{t} = \frac{v_1 \cdot \frac{t}{2} + v_2 \cdot \frac{t}{2}}{t} = \frac{v_1 + v_2}{2} = \frac{20 \text{ м/с} + 16 \text{ м/с}}{2} = 16 \text{ м/с.}$$

Жавоб: Бу ҳолда ўртача тезлик тезликларнинг ўртача арифметик қийматига тенг бўлиб, $v_{\text{ўрт}} = 16 \text{ м/с}$ экан.

3-масала. Автомобиль йўлнинг биринчи ярми ($s_1 = s/2$) ни $v_1 = 20 \text{ м/с}$ тезлик билан, қолган иккинчи ярми ($s_2 = s/2$) ни эса $v_2 = 30 \text{ м/с}$ тезлик билан ўтган бўлса, унинг ҳаракатининг ўртача тезлиги $v_{\text{ўрт}}$ ни топинг.

Берилган: $s_1 = s/2$; $v_1 = 20 \text{ м/с}$; $s_2 = s/2$; $v_2 = 30 \text{ м/с}$.

Топиш керак: $v_{\text{ўрт}} = ?$

Ечилиши: Автомобиль ҳаракатининг ўртача тезлиги $v_{\text{ўрт}} = \frac{s}{t}$ формуладан аниқланади. Бунда $t = t_1 + t_2 = \frac{s_1}{v_1} + \frac{s_2}{v_2}$ бўлиб, масала шартига кўра $s_1 = s_2 = s/2$ бўлганлиги учун:

$$v_{\text{ўрт}} = \frac{s}{\frac{s}{2v_1} + \frac{s}{2v_2}} = \frac{2v_1 \cdot v_2}{v_1 + v_2} = \frac{2 \cdot 20 \text{ м/с} \cdot 30 \text{ м/с}}{20 \text{ м/с} + 30 \text{ м/с}} = \frac{1200 \text{ м/с}}{50} = 24 \text{ м/с.}$$

Жавоб: $v_{\text{ўрт}} = 24 \text{ м/с}$, бу ҳолда ўртача тезлик—ўртача арифметик тезликка тенг эмас.

Муस्ताқил ечиш учун масалалар

2.1. Биринчи паровоз s йўлнинг ярми ($s_1 = s/2$) ни $v_1' = 20 \text{ м/с}$ тезлик билан, қолган ярми ($s_2 = s/2$) ни эса $v_2 = 10 \text{ м/с}$ тезлик билан ўтди. Иккинчи паровоз t ўтиш вақтининг ярми ($t_1 = t/2$) да $v_1'' = 20 \text{ м/с}$ тезлик билан, қолган ярми ($t_2 = t/2$) да эса $v_2'' = 10 \text{ м/с}$ юрди. Биринчи ва иккинчи паровознинг ўртача тезликлари $v_{\text{ўрт}}$ ва $v_{\text{ўрт}}''$ топинг.

$$\text{Жавоб: } v_{\text{ўрт}}' = \frac{2v_1' \cdot v_2}{v_1' + v_2} = 13,3 \text{ м/с}; \quad v_{\text{ўрт}}'' = \frac{v_1'' + v_2''}{2} = 15 \text{ м/с.}$$

2.2. Автомобиль йўлнинг ярмини $v_1 = 60 \text{ км/соат}$ тезлик билан, йўлнинг қолган қисмини ўтиш учун керак бўлган вақтнинг ярмида $v_2 = 25 \text{ км/соат}$ тезлик билан, қолганини эса $v_3 = 35 \text{ км/соат}$ тезлик билан ўтган бўлса, автомобилнинг бутун йўл давомидаги ўртача тезлиги $v_{\text{ўрт}}$ ни км/соат ларда топинг.

$$\text{Жавоб: } v_{\text{ўрт}} = \frac{2v_1(v_2 + v_3)}{2v_1 + v_2 + v_3} = 40 \text{ км/соат.}$$

2.3. Автомобиль довонга кўтарилишда $v_1 = 15$ м/с тезлик билан, довондан тушишда эса $v_2 = 72$ км/соат тезлик билан ҳаракат қилган. Довондан тушиш йўли s_2 кўтарилиш йўли s_1 дан икки марта узун ($s_2 = 2s_1$) бўлса, автомобилнинг бутун йўл давомидаги ўртача тезлиги $v_{\text{ўрт}}$ ни топинг.

$$\text{Жавоб: } v_{\text{ўрт}} = \frac{3v_1 \cdot v_2}{2v_1 + v_2} = 18 \text{ м/с.}$$

2.4. Автомобиль текис йўл бўйлаб $v_1 = 72$ км/соат тезлик билан $t_1 = 1$ мин, сўнгра $v_2 = 54$ км/соат тезлик билан юқорига $t_2 = 2$ мин, $v_3 = 108$ км/соат тезлик билан пастга қараб $t_3 = 20$ с юрган бўлса, автомобилнинг бутун йўл давомидаги ўртача тезлиги $v_{\text{ўрт}}$ ни топинг.

$$\text{Жавоб: } v_{\text{ўрт}} = \frac{s_1 + s_2 + s_3}{t_1 + t_2 + t_3} = \frac{v_1 t_1 + v_2 t_2 + v_3 t_3}{t_1 + t_2 + t_3} = 18 \text{ м/с.}$$

2.5. Реактив самолёт А шаҳардан В шаҳарга учишда ша молга қарши $v_1 = 720$ км/соат тезлик билан, қайтишда эса ша мол йўналишида $v_2 = 1080$ км/соат тезлик билан ҳаракатланган. Самолёт ҳаракатининг ўртача тезлиги $v_{\text{ўрт}}$ ни топинг.

$$\text{Жавоб: } v_{\text{ўрт}} = \frac{2v_1 \cdot v_2}{v_1 + v_2} = 240 \text{ м/с.}$$

2.6. Мотоциклчи йўлнинг $s_1 = 0,4s$ қисмини $v_1 = 72$ км/соат тезлик билан, қолган $s_2 = 0,6s$ қисмини эса $v_2 = 54$ км/соат тезлик билан ўтган бўлса, унинг ҳаракатининг ўртача тезлиги $v_{\text{ўрт}}$ ни топинг.

$$\text{Жавоб: } v_{\text{ўрт}} = \frac{v_1 \cdot v_2}{0,6 v_1 + 0,4 v_2} = 16,67 \text{ м/с.}$$

2.7. Ердан Ойгача бўлган масофа $s = 384000$ км. Космик кема бу масофанинг учдан бир қисми ($s_1 = \frac{1}{3} \cdot s$) ни $t_1 = 20$ соатда, қолган учдан икки қисми ($s_2 = \frac{2}{3} \cdot s$) ни эса $t_2 = 60$ соатда ўтган. Кеманинг масофанинг биринчи, иккинчи қисмини ва бутун йўлни ўтишдаги ўртача тезликлари $v_{\text{ўрт}}$, $v_{\text{ўрт}}$ ва $v_{\text{ўрт}}$ ни топинг.

$$\text{Жавоб: } v_{\text{ўрт}} = \frac{s}{3t_1} = 6400 \text{ км/соат; } v_{\text{ўрт}} = \frac{2s}{3t_2} = 4267 \text{ км/соат;}$$

$$v_{\text{ўрт}} = \frac{s}{t_1 + t_2} = 4800 \text{ км/соат.}$$

2.8. Дунёнинг биринчи фазогири Ю. А. Гагарин „Восток-1“ космик кемасида Ер атрофида учаётганда $s = 41580$ км масофани $v_{\text{ўрт}} = 28000$ км/соат ўртача тезликда учиб ўтган. Унинг учиш вақти t ни топинг.

$$\text{Жавоб: } t = \frac{s}{v_{\text{ўрт}}} = 1 \text{ соат } 29 \text{ мин.}$$

2.9. Биринчи фазогири аёл В. В. Николаева-Терешкова бошқарган „Восток 6“ космик кемаси $t = 4238$ минутда Ер ат-

рофини 48 марта айланиб, $s = 2000000$ км масофани учиб ўтган. Космик кеманинг ўртача тезлиги $v_{ўрт}$ ни топинг.

Жавоб: $v_{ўрт} = \frac{s}{t} = 7,86$ км/соат.

2.10. Самолёт икки шахар орасидаги масофани $v_1 = 75$ м/с ўртача тезлик билан $t_1 = 5$ соатда учиб ўтган. Қайтишда об-ҳавонинг ёмонлашганлиги сабабли, самолётнинг тезлиги $v_2 = 225$ км/соатгача камайган бўлса, у қанча t_2 вақтда қайтиб келган?

Жавоб: $t_2 = t_1 \frac{v_1}{v_2} = 6$ соат.

3-§. ТЕКИС ЎЗГАРУВЧАН ҲАРАКАТ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Текис тезланувчан ҳаракатланаётган „Москвич“ автомобили $t = 1$ мин давомида тезлигини $v_0 = 18$ км/соатдан $v_1 = 72$ км/соатга ўзгартирган. Автомобилнинг тезланиши a , шу вақт ичидаги ўртача тезлиги $v_{ўрт}$ ва ўтган йўли s топилсин.

Берилган: $t = 1$ мин = 60 с; $v_0 = 18$ км/соат = 5 м/с, $v_1 = 72$ км/соат = 20 м/с.

Топиш керак: $a = ?$ $v_{ўрт} = ?$ $s = ?$

Ечилиши. Текис тезланувчан ҳаракатда тезланиш a тезликнинг ўзгариши $v_t - v_0$ нинг ҳаракат вақти t га бўлган нисбатига тенг:

$$a = \frac{v_t - v_0}{t} = \frac{20 \text{ м/с} - 5 \text{ м/с}}{60 \text{ с}} = \frac{15 \text{ м/с}}{60 \text{ с}} = 0,25 \text{ м/с}^2.$$

Текис ўзгарувчан ҳаракатнинг ўртача тезлиги $v_{ўрт}$ ҳаракатнинг бошланғич тезлиги v_0 ва охириги тезлиги v_t нинг ўртача арифметик қийматига тенг:

$$v_{ўрт} = \frac{v_0 + v_t}{2} = \frac{5 \text{ м/с} + 20 \text{ м/с}}{2} = \frac{35 \text{ м/с}}{2} = 17,5 \text{ м/с}.$$

Текис ўзгарувчан ҳаракатда ўтилган йўл s ўртача тезлик $v_{ўрт}$ ни вақт t га кўпайтмаси билан аниқланади:

$$s = v_{ўрт} \cdot t = \frac{(v_0 + v_t) \cdot t}{2} = \frac{(5 \text{ м/с} + 20 \text{ м/с}) \cdot 60 \text{ с}}{2} = 17,5 \text{ м/с} \cdot 60 \text{ с} = 1050 \text{ м}.$$

Жавоб: $a = 0,25 \text{ м/с}^2$; $v_{ўрт} = 17,5 \text{ м/с}$ ва $s = 1050 \text{ м}$.

2-масала. Реактив самолёт $v_0 = 720$ км/соат тезлик билан учмоқда Самолёт бирор моментдан бошлаб $t = 10$ с вақт давомида тезланиш билан ҳаракатланади ва охириги $t_1 = 1$ с да $s_1 = 295$ м йўлни учиб ўтади. Тезланиш a ва охириги тезлик v_t топилсин.

Берилган: $v_0 = 720 \text{ км/со ат} = 200 \text{ м/с}$; $t = 10 \text{ с}$; $t_1 = 1 \text{ с}$; $s_1 = 295 \text{ м}$.

Топиш керак: $a = ?$ $v_t = ?$

Ечилиши: Бошланғич тезликни текис тезланувчан ҳаракатнинг тенгламасига биноан t ва $t - t_1$ вақтларда ўтилган йўллар қуйидагига тенг бўлади:

$$s = v_0 t + \frac{at^2}{2} \quad \text{ва} \quad s - s_1 = v_0(t - t_1) + \frac{a(t - t_1)^2}{2}.$$

Бу тенгликларни ҳадма-ҳад айирсак,

$$s - (s - s_1) = \left(v_0 t + \frac{at^2}{2} \right) - \left[v_0(t - t_1) + \frac{a(t - t_1)^2}{2} \right]$$

ёки

$$s_1 = v_0 t + \frac{at^2}{2} - v_0 t + v_0 t_1 - \frac{at^2}{2} + at_1 t - \frac{at_1^2}{2}.$$

Бундан изланаётган тезланишни топамиз.

$$a = \frac{2(s_1 - v_0 t_1)}{(2t - t_1)t_1} = \frac{2(295 \text{ м} - 200 \text{ м/с} \cdot 1 \text{ с})}{(2 \cdot 10 \text{ с} - 1 \text{ с})1 \text{ с}} = \frac{2 \cdot 95 \text{ м}}{19 \text{ с}^2} = 10 \text{ м/с}^2.$$

У ҳолда охириги тезлик v_t :

$$v_t = v_0 + at = 200 \text{ м/с} + 10 \text{ м/с}^2 \cdot 10 \text{ с} = 300 \text{ м/с}.$$

Жавоб: $a = 10 \text{ м/с}^2$; $v_t = 300 \text{ м/с}$.

3-масала. $v_0 = 16 \text{ м/с}$ тезлик билан кетаётган поезд тормозлангандан бошлаб тўхтагунча $s = 128 \text{ м}$ йўл босди. Ҳаракатнинг тезланиши a ва поезд тўхтагунча кетган вақт t топилсин.

Берилган: $v_0 = 16 \text{ м/с}$; $s = 128 \text{ м}$.

Топиш керак: $a = ?$ $t = ?$

Ечилиши. Текис ўзгарувчан ҳаракатнинг тезлиги, тезланиши ва йўлини ўзаро боғловчи $v_t^2 - v_0^2 = 2as$ формуладан тезланишни топамиз:

$$a = \frac{v_t^2 - v_0^2}{2s}.$$

Масаланинг шартига асосан ҳаракатнинг охириги тезлиги нолга тенг, яъни $v_t = 0$. Бинобарин:

$$a = -\frac{v_0^2}{2s} = -\frac{16^2 \text{ м}^2/\text{с}^2}{2 \cdot 128 \text{ м}} = -\frac{256 \text{ м/с}^2}{256} = -1 \text{ м/с}^2.$$

Бунда манфий ишора ҳаракатнинг текис секинланувчан эканлигини билдиради.

Поезд тўхтагунча кетган вақт t ўртача тезлик орқали ифодаланган йўл формуласи $s = v_{\text{урт}} \cdot t = \frac{v_0 + v_t}{2} t$ дан ёки $v_t = 0$

бўлганлиги учун $s = \frac{v_0}{2} t$ дан осонгина аниқланиши мумкин:

$$t = \frac{2s}{v_0} = \frac{2 \cdot 128 \text{ м}}{16 \text{ м/с}} = \frac{256 \text{ м}}{16 \text{ м/с}} = 16 \text{ с}.$$

Жавоб: $a = -1 \text{ м/с}^2$; $t = 16 \text{ с}$.

Мустақил ечиш учун масалалар

3.1. „Жигули“ автомобили бошланғич тезлик билан текис тезланувчан ҳаракатланиб, $t_1 = 5$ с да $s_1 = 40$ м ва $t_2 = 10$ с да $s_2 = 130$ м масофани ўтган бўлса, ҳаракатнинг бошланғич тезлиги v_0 ва тезланиши a ни топинг.

$$\text{Жавоб: } v_0 = \frac{s_1 t_2^2 - s_2 t_1^2}{t_1 \cdot t_2 (t_2 - t_1)} = 3 \text{ м/с}; \quad a = \frac{2(s_2 t_1 - s_1 t_2)}{t_1 \cdot t_2 (t_2 - t_1)} = 2 \text{ м/с}^2.$$

3.2. Реактив самолёт $t = 20$ с вақт давомида ўз тезлигини $v_0 = 360$ км/соат дан $v_t = 1080$ км/соатга оширган бўлса, самолётнинг ҳаракат тезланиши a , шу вақт ичида ўтган йўли s ва ўртача тезлиги $v_{\text{ўрт}}$ ни топинг.

$$\text{Жавоб: } a = \frac{v_t - v_0}{t} = 10 \text{ м/с}^2; \quad s = \frac{(v_0 + v_t)t}{2} = 4 \text{ км};$$

$$v_{\text{ўрт}} = \frac{v_0 + v_t}{2} = 200 \text{ м/с}.$$

3.3. Конькичи $v_0 = 5$ м/с тезликка эришгач, муз устида $a = -0,5$ м/с² тезланиш билан текис секинланувчан ҳаракат қилмоқда. У тўхтагунча қанча t вақт ҳаракатланади, бу вақт ичида қанча s йўлни ўтади ва қандай $v_{\text{ўрт}}$ ўртача тезлик билан ҳаракатланади?

$$\text{Жавоб: } t = -\frac{a}{v_0} = 10 \text{ с}; \quad s = \frac{v_0^2}{2a} = 25 \text{ м};$$

$$v_{\text{ўрт}} = \frac{v_0}{2} = 2,5 \text{ м/с}.$$

3.4. Пристандан текис тезланувчан ҳаракат қилиб кетаётган катер $s = 640$ м масофада $v_t = 57,6$ км/соат тезликка эришган. Шу тезликка эришгунча кетган вақт t ни ҳаракатнинг тезланиши a ни ва ўртача тезлик $v_{\text{ўрт}}$ ни топинг.

$$\text{Жавоб: } t = \frac{2s}{v_t} = 80 \text{ с} = 1 \text{ мин } 20 \text{ с}; \quad a = \frac{v_t^2}{2s} = 0,2 \text{ м/с}^2;$$

$$v_{\text{ўрт}} = \frac{v_t}{2} = 8 \text{ м/с}.$$

3.5. Бошланғич тезлиги $v_0 = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ бўлган, текис тезланувчан ҳаракат қилаётган жисм маълум бир масофани ўтгач, $v_t = 7$ м/с тезликка эришади. Шу масофанинг ярмида жисмнинг тезлиги v қандай бўлади?

$$\text{Жавоб: } v = \sqrt{\frac{v_t^2 + v_0^2}{2}} = 5 \text{ м/с}.$$

3.6. Поезд текис секинланувчан ҳаракат билан тепаликка чиқмоқда. Унинг ўртача тезлиги $v_{\text{ўрт}} = 10$ м/с. Агар поезд ҳа-

ракатининг охириги тезлиги $v_1=5$ м/с бўлса, унинг бошланғич тезлиги v_0 қандай бўлган?

Жавоб: $v_0=2v_{\text{урт}}+v_1=15$ м/с.

3.7. Икки жисм битта нуқтадан бир йўналишда, бир онда ҳаракатлана бошлади. Улардан бири $v_0=54$ км/соат тезлик билан текис, иккинчиси эса бошланғич тезликсиз $a=0,2$ м/с² тезланиш билан ҳаракат қилади. Қанча t вақтдан кейин иккинчи жисм биринчисини қувиб етали?

Жавоб: $t = \frac{2v_0}{a} = 150$ с = 2 мин 30 с.

3.8. Поезд икки станция орасидаги масофани $v_{\text{урт}}=72$ км/соат ўртача тезлик билан $t=20$ мин да ўтди. Тезланиш олиш ва тормозланиш биргаликда $t_1=4$ мин давом этди. Қолган вақтда эса поезд текис ҳаракатланди. Текис ҳаракатда поезднинг тезлиги v қандай бўлган?

Жавоб: $v = v_{\text{урт}} \cdot \frac{2t}{2t-t_1} = 22,2$ м/с = 80 км/соат.

3.9. Текис тезланувчан ҳаракат қилувчи жисм ҳаракат бошлангандан кейин бешинчи секундда (яъни $\Delta t = t_5 - t_4 = 1$ с да) $\Delta s = 45$ м йўлни ўтган. Шу жисм қандай a тезланиш билан ҳаракатланган? Унинг $t = 5$ с даги тезлиги v_t қандай бўлган? Жисм $t_1 = 1$ с да қанча s_1 йўлни ўтган?

Жавоб: $a = \frac{2\Delta s}{t_5^2 - t_4^2} = 10$ м/с²; $v_t = \frac{2\Delta s \cdot t}{t_5^2 - t_4^2} = 50$ м/с;

$s = \frac{\Delta s \cdot t_1^2}{t_5^2 - t_4^2} = 5$ м.

3.10. $v_0 = 43,2$ км/соат тезлик билан кетаётган поезд тормозлангандан сўнг то тўхтагунча $s = 180$ м йўлни ўтган. Поезд қанча t вақтдан кейин тўхтаган? У қандай a тезланиш ва қандай $v_{\text{урт}}$ ўртача тезлик билан ҳаракатланган?

Жавоб: $t = \frac{2s}{v_0} = 30$ с; $a = \frac{v_0^2}{2s} = 0,4$ м/с²; $v_{\text{урт}} = \frac{v_0}{2} = 6$ м/с.

3.11. $v_0 = 2$ м/с бошланғич тезликка эга бўлган моддий нуқта $t_1 = 3$ с давомида текис, $t_2 = 2$ с да $a_2 = 2$ м/с² тезланиш билан, $t_3 = 5$ с да $a_3 = 1$ м/с² тезланиш билан, $t_4 = 2$ с да $a_4 = -3$ м/с² тезланиш билан ва ниҳоят $t_5 = 2$ с да t_4 вақт оралиғи охирида олган тезлиги билан текис ҳаракат қилган. Моддий нуқтанинг охириги тезлиги v_4 ни, босиб ўтган йўли s ни ва шу йўлдаги ўртача тезлиги $v_{\text{урт}}$ ни аниқланг.

Жавоб: $v_4 = v_0 + a_2 t_2 + a_3 t_3 + a_4 t_4 = 5 \text{ м/с}$; $s = v_0(t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5) +$
 $+ a_2 t_2 \left(\frac{t_2}{2} + t_3 + t_4 + t_5 \right) + a_3 t_3 \left(\frac{t_3}{2} + t_4 + t_5 \right) + a_4 t_4 \left(\frac{t_4}{2} + t_5 \right) = 82,5 \text{ м}$;
 $v_{\text{урт}} = v_0 + \frac{a_2 t_2 \left(\frac{t_2}{2} + t_3 + t_4 + t_5 \right) + a_3 t_3 \left(\frac{t_3}{2} + t_4 + t_5 \right) + a_4 t_4 \left(\frac{t_4}{2} + t_5 \right)}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5} = 5,9 \text{ м/с}$.

3.12. $v_0 = 2 \text{ м/с}$ бошланғич тезлик билан ҳаракатланаётган жисм олтинчи ($\Delta t_1 = t_6 - t_5 = 1 \text{ с}$) секундда $\Delta s = 24 \text{ м}$ йўлни ўтган бўлса, у қандай a тезланиш билан ҳаракат қилган? Жисмнинг ўн олтинчи ($\Delta t_2 = t_{16} - t_{15} = 1 \text{ с}$) секундда босиб ўтган йўли Δs_2 ни топинг.

Жавоб: $a = \frac{2[\Delta s_1 - v_0(t_6 - t_5)]}{t_6^2 - t_5^2} = 4,9 \text{ м/с}^2$;

$\Delta s_2 = v_0(t_{16} - t_{15}) + [\Delta s_1 - v_0(t_6 - t_5)] \frac{t_{16}^2 - t_{15}^2}{t_6 - t_5} = 78 \text{ м}$.

4 - §. ЭРКИН ТУШИШ. ЮҚОРИГА ТИК ОТИЛГАН ЖИСМНИНГ ҲАРАКАТИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Икки жисм турли баландликдан ерга бир вақтда ташланган. Биринчи жисм $t_1 = 2 \text{ с}$ да, иккинчиси эса $t_2 = 4 \text{ с}$ да тушган. Биринчи жисм ерга тушган пайтда иккинчи жисм ердан қанча H баландликда бўлган?

Берилган. $g = 9,8 \text{ м/с}^2$; $t_1 = 2 \text{ с}$; $t_2 = 4 \text{ с}$.

Топиш керак. $H = ?$

Ечилиши. Биринчи ва иккинчи жисмнинг баландликлари h_1 ва h_2 мос равишда қуйидагига тенг бўлади:

$$h_1 = \frac{g t_1^2}{2} \quad \text{ва} \quad h_2 = \frac{g t_2^2}{2}.$$

Жисмлар ҳар хил баландликдан бошланғич тезликсиз туша бошлаганда, улар ўзаро параллел равишда кўча боради. Шунинг учун биринчи жисм ерга тушган пайтдаги иккинчи жисмнинг ердан баландлиги H жисмлар тушиш баландликларининг фарқига тенг бўлади:

$$H = h_2 - h_1 = \frac{g t_2^2}{2} - \frac{g t_1^2}{2} = \frac{g}{2} (t_2^2 - t_1^2) =$$

$$= \frac{9,8 \text{ м/с}^2}{2} (16 \text{ с}^2 - 4 \text{ с}^2) = 4,9 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} 12 \text{ с}^2 = 58,8 \text{ м}.$$

Жавоб: $H = 58,8 \text{ м}$.

2-масала. Эркин тушаётган жисм охириги $h_1 = 196 \text{ м}$ йўлни $t_1 = 4 \text{ с}$ да ўтган бўлса, жисмнинг тушиш вақти t ва тушиш баландлиги h топилин.

Берилган: $g = 9,8 \text{ м/с}^2$; $t_1 = 4 \text{ с}$; $h_1 = 196 \text{ м}$.

Топиш керак: $t = ?$ $h = ?$

Ечилиши Бунга ўхшаш масалаларни ечиш учун бошлангич тезликсиз эркин тушаётган иккита жисмнинг йўли формулаларини тузиш керак. Бунинг учун бошлангич тезликсиз тушаётган жисмнинг t вақтда тушиш баландлиги h ва жисмни охириги h_1 йўлни ўтгунча (яъни $t - t_1$ вақтда) тушиш баландлиги $h - h_1$ учун йўл формулаларини ёзамиз:

$$h = \frac{gt^2}{2} \quad \text{ва} \quad h - h_1 = \frac{g(t - t_1)^2}{2}.$$

Бу икки тенглама биргаликда ечилса

$$\frac{gt^2}{2} - h_1 = \frac{gt^2}{2} - gt_1 \cdot t + \frac{gt_1^2}{2}$$

бўлади. Бундан топилиши керак бўлган вақтни аниқлаймиз:

$$t = \frac{t_1}{2} + \frac{h_1}{gt_1} = \frac{4\text{с}}{2} + \frac{196 \text{ м}}{9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 4 \text{ с}} = 2 \text{ с} + 5 \text{ с} = 7 \text{ с}.$$

Жисмнинг бошлангич тезликсиз эркин тушиш баландлиги h қуйидагига тенг бўлади:

$$h = \frac{gt^2}{2} = \frac{9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 49 \text{ с}^2}{2} = 4,9 \cdot 49 \text{ м} = 240,1 \text{ м}.$$

Жавоб: $t = 7 \text{ с}$; $h = 240,1 \text{ м}$.

3- масала. $v_1 = 4 \text{ м/с}$ тезлик билан кўтарилаётган аэростат гондоласидан Ердан $h = 40 \text{ м}$ баландликда юқорига аэростатга нисбатан $v_2 = 6 \text{ м/с}$ тезлик билан жисм отилган. Жисм қанча t вақтдан кейин Ерга тушади? Шу пайтда аэростат қандай h баландликда бўлади?

Берилган: $g \approx 10 \text{ м/с}^2$; $h_1 = 40 \text{ м}$; $v_1 = 4 \text{ м/с}$; $v_2 = 6 \text{ м/с}$.

Топиш керак: $t = ?$ $h = ?$

Ечилиши: Вақтнинг ихтиёрий t моментидан жисмнинг Ердан s масофага текис тезланувчан ҳаракат билан кўчиши қуйидаги формуладан аниқланади:

$$s = h_1 + (v_1 + v_2)t - \frac{gt^2}{2}.$$

Масаланинг шартига кўра жисм Ерга тушган пайтида $s = 0$ бўлади. Бинобарин:

$$\frac{gt^2}{2} - (v_1 + v_2)t - h_1 = 0 \quad \text{ёки} \quad gt^2 - 2(v_1 + v_2)t - 2h_1 = 0.$$

Бу квадрат тенгламадан t вақт топилса,

$$t = \frac{(v_1 + v_2) \pm \sqrt{(v_1 + v_2)^2 + 2gh_1}}{g} = \frac{10 \text{ м/с} \pm \sqrt{100 \text{ м}^2/\text{с}^2 + 2 \cdot 10 \text{ м/с}^2 \cdot 40 \text{ м}}}{10 \text{ м/с}^2} = \frac{10 \text{ м/с} \pm 30 \text{ м/с}}{10 \text{ м/с}^2}; \quad t_1 = 4 \text{ с}; \quad t_2 = -1 \text{ с}.$$

Манфий вақт физик маънога эга эмас. Шунинг учун жисмнинг Ерга тушиш вақти $t=4$ с.

У вақтда аэростатнинг Ердан кўтарилган баландлиги қуйидагига тенг бўлади:

$$h = h_1 + v_1 t = 40 \text{ м} + 4 \text{ м/с} \cdot 4 \text{ с} = 56 \text{ м.}$$

Жавоб: $t=4$ с; $h=56$ м.

Мустақил ечиш учун масалалар

4.1. Эркин тушаётган жисмнинг Ерга урилиш пайтидаги тезлиги $v_1=39,2$ м/с га етган. Жисмнинг тушиш баландлиги h ва тушиш вақти t ни топинг.

$$\text{Жавоб: } h = \frac{v_1^2}{2g} = 78,4 \text{ м, } t = \frac{v_1}{g} = 4 \text{ с.}$$

4.2. Сузувчи баландлиги $h=5$ м бўлган минорадан сакраб, сувда $h_1=2$ м чуқурликкача ботган. У сувда қанча t вақт ва қандай a тезланиш билан ҳаракатланган?

$$\text{Жавоб: } t = \frac{2h_1}{\sqrt{2gh}} = 0,4 \text{ с; } a = -\frac{gh}{h_1} = -24,5 \text{ м/с}^2.$$

4.3. Қоя чўққисидан тушиб кетган тошнинг Ерга урилган товуши $t=6$ с дан кейин эшитилади. Товушнинг тезлиги $v=330$ м/с ва $g \approx 10$ м/с² деб олиб, қоянинг баландлиги h ни топинг.

$$\text{Жавоб: } h = v \left[\left(t + \frac{v}{g} \right) - \sqrt{\left(t + \frac{v}{g} \right)^2 - t^2} \right] = 153 \text{ м.}$$

4.4. Жисм $h=45$ м баландликдан бошланғич тезликсиз эркин тушмоқда. Йўлнинг пастки ярми ($h_3 = h/2$) даги ўртача тушиш тезлиги $v_{\text{ўрт}}$ ни топинг.

$$\text{Жавоб: } v_{\text{ўрт}} = \frac{(1 + \sqrt{2})}{2} \sqrt{gh} = 25,3 \text{ м/с.}$$

4.5. Аэростат $a=2$ м/с² тезланиш билан юқорига тик кўтарилмоқда. Аэростат ҳаракатлана бошлаган пайтдан $\tau=5$ с ўтгач ундан тош тушиб кетди. Бу тош қанча t вақтдан кейин Ерга тушади?

$$\text{Жавоб: } t = \frac{a \cdot \tau + \sqrt{a^2 \tau^2 + 2ag\tau^2}}{g} = 3,45 \text{ с}$$

4.6. Эркин тушаётган жисм охириги $t_1=2$ с да $h_1=98$ м йўлни ўтган бўлса, жисмнинг тушиш вақти t ва тушиш баландлиги h ни топинг.

$$\text{Жавоб: } t = \frac{t_1}{2} + \frac{h_1}{gt_1} = 6 \text{ с; } h = \frac{g}{2} \left(\frac{t_1}{2} + \frac{h_1}{gt_1} \right)^2 = 176,4 \text{ м}$$

4.7 $h = 245$ м баландликдан эркин тушаётган жисмнинг тушиш вақти t ва охири $t_1 = 1$ с қолган моментдаги тушиш баландлиги h_1 ни топинг.

$$\text{Жавоб: } t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = 7,07 \text{ с; } h_1 = h - \frac{g}{2} \left(\sqrt{\frac{2h}{g}} - t_1 \right)^2 = 64,5 \text{ м.}$$

4.8. $v_0 = 40$ м/с тезлик билан юқорига тик отилган камон ўқи мўлжалга $t = 2$ с дан кейин теккан бўлса, мўлжал қандай h баландликда бўлган ва ўқнинг мўлжалга тегиш пайтидаги тезлиги v_t қандай бўлган?

$$\text{Жавоб: } h = v_0 t - \frac{gt^2}{2} = 60,4 \text{ м; } v_t = v_0 - gt = 20,4 \text{ м/с.}$$

4.9. Юқорига тик отилган ўқ ва унинг товуши бир вақтда $h = 661$ м баландликка етган. Ўқнинг бошланғич тезлиги v_0 ни топинг. Товуш тезлиги $v = 330$ м/с ва $g \approx 10$ м/с² деб олинг.

$$\text{Жавоб: } v_0 = v + \frac{g}{2} \left(\frac{h}{v} \right) = 340 \text{ м/с.}$$

4.10. Юқорига $v_0 = 160$ м/с тезлик билан тик отилган пневматик милтиқ ўқи $t = 20$ м дан кейин қандай v_t тезликка эришади? $g \approx 10$ м/с² деб олинг.

$$\text{Жавоб: } v_t = g \left(t - \frac{v_0}{g} \right) = 40 \text{ м/с.}$$

4.11. Жисм бошланғич тезликсиз $t_1 = 6$ с да Ерга эркин тушадиган баландликдан шу жисмни $v_0 = 39,2$ м/с бошланғич тезлик билан ташланса, у қанча t вақтдан кейин Ерга тушади?

$$\text{Жавоб: } t_2 = \sqrt{\left(\frac{v_0}{g} \right)^2 + t_1^2} - \frac{v_0}{g} = 3,21 \text{ с.}$$

4.12. $h = 1,5$ км баландликда вертолётдан ўқ $v_0 = 300$ м/с бошланғич тезлик билан пастга тик отилган. Ўқнинг Ерга тушиш вақти t ва Ер сиртида эришган тезлиги v_t ни топинг. $g \approx 10$ м/с² деб олинг.

$$\text{Жавоб: } t = -\frac{v_0}{g} + \sqrt{\left(\frac{v_0}{g} \right)^2 - 2\frac{h}{g}} = 5,5 \text{ с; } v_t = \sqrt{v_0^2 + 2gh} = 346 \text{ м/с.}$$

5-§. ЭГРИ ЧИЗИҚЛИ ҲАРАКАТ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Баландлиги $H = 16$ м бўлган минорадан $v_0 = 10$ м/с тезлик билан горизонтал отилган тошнинг ҳаракат вақти t_1 , ерга тушиш узоқлиги s_x ва ерга урилиш тезлиги v топилсин.

$$\text{Берилган: } H = 16 \text{ м; } v_0 = 10 \text{ м/с; } g = 9,8 \text{ м/с}^2.$$

Топиш керак: $t = ?$
 $s_x = ?$ $v = ?$

Ечилиши: Горизонтал отилган тошнинг учиш масофаси s ни иккита: горизонтал s_x ва вертикал s_y ташкил этувчиларга ажратамиз (1.3-расм). Ҳаракатнинг мустақиллик принципига биноан учишнинг горизонтал ва вертикал ташкил этувчилари учун қуйидаги иккита тенгламани ёзамиз:

$$s_y = H = \frac{gt^2}{2};$$

$$s_x = v_x t = v_0 t.$$

Бунда t —тошнинг ҳаракат вақти бўлиб, унинг сон қийматини вертикал учиш тенгламасидан аниқлаймиз.

$$t = \sqrt{\frac{2H}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 16 \text{ м}}{9,8 \text{ м/с}^2}} = \sqrt{3,27 \text{ с}^2} = 1,81 \text{ с}.$$

Тошнинг ҳаракат вақти t ни билган ҳолда унинг ерга тушиш узоқлиги s_x нинг сон қийматини аниқлаймиз:

$$s_x = v_0 \cdot t = 10 \text{ м/с} \cdot 1,81 \text{ с} = 18,1 \text{ м}.$$

Тошнинг ерга урилиш тезлиги v қуйидасига тенг бўлади:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + 2gH}$$

Масалада берилганларни ўрнига қўйиб ҳисобласак:

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2gH} = \sqrt{100 \text{ м}^2/\text{с}^2 + 2 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 16 \text{ м}} = 20,3 \text{ м/с}.$$

Жавоб: $t = 1,81 \text{ с}$; $s_x = 18,1 \text{ м}$; $v = 20,3 \text{ м/с}$.

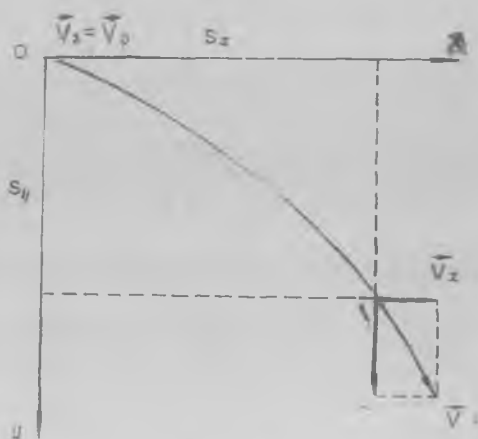
2-масала. Горизонтга нисбатан $\alpha = 30^\circ$ бурчак остида $v_0 = 12 \text{ м/с}$ бошланғич тезлик билан отилган тошнинг кўтарилиш баландлиги H , учиш вақти t ва учиш масофаси s_x топилин.

Берилган: $\alpha = 30^\circ$; $v_0 = 12 \text{ м/с}$; $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

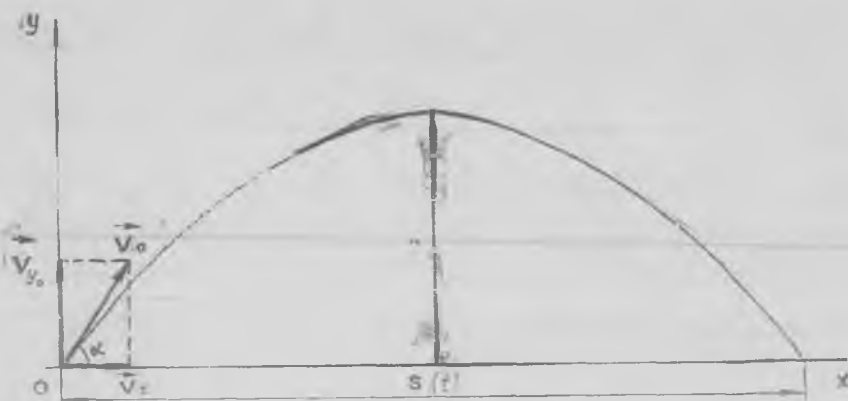
Топиш керак: $H = ?$ $t = ?$ $s_x = ?$

Ечилиши. Горизонтга нисбатан α бурчак остида v_0 тезлик билан отилган тошнинг t вақтдан кейинги тезлиги v нинг вертикал ташкил этувчиси v_y ва вертикал силжиш масофаси s_y қуйидагига тенг бўлади: (1.4-расм):

$$v_y = v_0 \sin \alpha - gt \text{ ва } s_y = v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}.$$



1.3-расм



1.4- расм

Тош ҳаракаг траекториясининг энг юқори нуқтасида $v_y = 0$ ва $s_y = H$ бўлганлиги учун юқоридаги тенгламалар қуйидаги кўринишга келади:

$$v_0 \sin \alpha = gt_1, \quad (1)$$

$$H = v_0 \sin \alpha \cdot t_1 - \frac{gt_1^2}{2}. \quad (2)$$

(1) тенгламадан тошнинг кўтарилиш вақти t_1 қуйидагига тенг бўлади:

$$t_1 = \frac{v_0 \sin \alpha}{g} \quad (3)$$

Бу ифода (2) га қўйилса, тошнинг кўтарилиш баландлиги H ни ҳисоблаш формуласи келиб чиқади:

$$H = v_0 \sin \alpha \frac{v_0 \sin \alpha}{g} - \frac{g}{2} \cdot \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{g^2} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

Масалада берилганларни ўрнига қўйиб ҳисоблаб чиқамиз:

$$H = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2 \cdot g} = \frac{144 \text{ м}^2/\text{с}^2 \sin^2 30^\circ}{2 \cdot 9,8 \text{ м}/\text{с}^2} = \frac{144 \cdot 0,25}{2 \cdot 9,8} \text{ м} = 1,84 \text{ м}$$

Тошнинг учиш вақти t кўтарилиш вақти $t_1 = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$ дан икки марта катта бўлганлиги учун:

$$t = 2t_1 = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} = \frac{2 \cdot 12 \text{ м}/\text{с} \cdot \sin^2 30^\circ}{9,8 \text{ м}/\text{с}^2} = \frac{2 \cdot 12 \text{ с} \cdot 0,5}{9,8} = 1,22 \text{ с}.$$

Тошнинг учиш масофаси s_x қуйидаги формуладан аниқланади:

$$s_x = v_x t = v_0 \cos \alpha \cdot \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}.$$

Масалада берилганларни ўрнига қўйиб, s_x ни ҳисоблаймиз:

$$s_x = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} = \frac{144 \text{ м}^2/\text{с}^2 \cdot \sin 60^\circ}{9,8 \text{ м}/\text{с}^2} = \frac{144 \cdot 0,866}{9,8} \text{ м} = 12,7 \text{ м}$$

Жавоб: $H=1,84 \text{ м}$; $t=1,22 \text{ с}$; $s_x = 12,7 \text{ м}$.

Мустақил ечиш учун масалалар

5.1. Минорадан горизонтал йўналишда $v_0 = 30 \text{ м/с}$ тезлик билан отилган тош $t = 4 \text{ с}$ дан кейин ерга тушган бўлса, миноранинг баландлиги H ва тошнинг горизонтал учиш масофаси s_x ни топинг.

$$\text{Жавоб: } H = \frac{gt^2}{2} = 78,4 \text{ м}; s_x = v_0 t = 120 \text{ м}.$$

5.2. $H=40 \text{ м}$ баландликдан горизонтал отилган жисм $s_x = 30 \text{ м}$ масофада ерга тушган бўлса, тошнинг бошланғич v_0 ва охириги v тезликларини топинг.

$$\text{Жавоб: } v_0 = s_x \cdot \sqrt{\frac{g}{2H}} = 10,5 \text{ м/с}; v = \sqrt{s_x^2 \frac{g}{2H} + 2 \cdot gH} = 30 \text{ м/с}.$$

5.3. Горизонтал отилган тошнинг $t = 2 \text{ с}$ ўтгандан кейинги тезлиги v бошланғич тезлиги v_0 дан икки марта катта бўлган. Тошнинг бошланғич тезлиги v_0 ни топинг.

$$\text{Жавоб: } v_0 = \frac{gt}{3} = 11,3 \text{ м/с}$$

5.4. Горизонтал йўналишда $v_0 = 10 \text{ м/с}$ тезлик билан отилган жисмнинг учиш масофаси s_x унинг кўтарилиш баландлиги H га тенг бўлди. Жисмнинг кўтарилиш баландлиги H ва ерга урилиш тезлиги v ни топинг.

$$\text{Жавоб: } H = \frac{2v_0^2}{g} = 20,4 \text{ м}; v = \sqrt{3}v_0 = 17,3 \text{ м/с}.$$

5.5. $H=400 \text{ м}$ баландликда $v_0 = 108 \text{ км/соат}$ тезлик билан учаётган вертолётдан унга қарама-қарши йўналишда $v = 36 \text{ км/соат}$ тезлик билан ҳаракатланаётган туристлар теплоходига вимпел ташланиши керак. Учувчи теплоходдан қандай s_x масофада вимпелни ташлаши керак?

$$\text{Жавоб: } s_x = (v_0 + v) \sqrt{\frac{2H}{g}} = 361 \text{ м}.$$

5.6. Горизонтга нисбатан $\alpha = 45^\circ$ бурчак остида $v_0 = 14 \text{ м/с}$ тезлик билан отилган тошнинг учиш вақти $t = 2 \text{ с}$ га тенг бўлса, тошнинг кўтарилиш баландлиги H ва учиш масофаси s_x ни топинг.

$$\text{Жавоб: } H = \frac{g(t/2)^2}{2} = \frac{gt^2}{8} = 4,9 \text{ м}; s_x = v_0 \cos \alpha \cdot t = 19,6 \text{ м}.$$

5.7. Снаряднинг учиш узоқлиги s_x кўтарилиш баландлиги H га тенг бўлиши учун снаряд горизонтга нисбатан қандай α бурчак остида отилиши керак?

$$\text{Жавоб: } \alpha = \arctg \frac{v_0 t}{v_0 \cdot t/4} = \arctg 4 = 76^\circ$$

5.8. Футбол ўйинчиси тўпни горизонтга нисбатан $\alpha = 30^\circ$ бурчак остида $v_0 = 10$ м/с тезлик билан тепган бўлса, тўпнинг кўтарилиш баландлиги H , учиш вақти t ва учиш масофаси s_x ни топинг.

$$\text{Жавоб: } H = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2 \cdot g} = 1,3 \text{ м; } t = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} = 1 \text{ с;}$$

$$s_x = \frac{v_0 \sin 2\alpha}{g} = 8,8 \text{ м.}$$

5.9. Тошни $s = 10$ м узоқликдаги баландлиги $H = 4$ м бўлган девордан ошириб юбориш учун, уни горизонтга нисбатан $\alpha = 30^\circ$ бурчак остида қандай v_0 тезлик билан отиш керак?

$$\text{Жавоб: } v_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot g(H + s)}{\sin \alpha + \sin 2\alpha}} = 14,2 \text{ м/с.}$$

5.10. Горизонтга нисбатан маълум бир бурчак остида отилган тошнинг тезлиги $v_0 = 10$ м/с дан $v_1 = 6,4$ м/с тезликкача ўзгарган бўлса, тошнинг кўтарилиш баландлиги H ни топинг.

$$\text{Жавоб: } H = \frac{v_0^2 - v_1^2}{2 \cdot g} = 3 \text{ м.}$$

6-§. ТЕКИС АЙЛАНМА ҲАРАКАТ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Соатнинг минут илки $N = 5$ марта тўла айланган ($t_0 = 1$ соат) бўлса, илдинг у бурилиш бурчаги φ нинг градус ва радианларда; айланиш даври T , айланиш частотаси ν нинг секунд, минут ва соатларда, бурчакли тезлик ω нинг рад/с, рад/мин ва рад/соатларда ифодаланган қийматларини топинг

$$\text{Берилган: } t = 5t_0 = 5 \text{ соат} = 5 \cdot 60 \text{ мин} = 5 \cdot 60 \cdot 60 \text{ с; } N = 5.$$

$$\text{Топиш керак: } \varphi = ? \quad T = ? \quad \nu = ? \quad \omega = ?$$

Ечилиши: Айланма ҳаракатда радиуснинг бурилиш бурчаги φ айланишлар сони N нинг 2π га купайтмасига тенгдир:

$$\varphi = 2\pi N = 2 \cdot 180^\circ \cdot 5 = 1800^\circ; \quad \varphi = 2\pi N = 2 \cdot 3,14 \text{ рад} \cdot 5 = 31,4 \text{ рад.}$$

Айланма ҳаракатнинг айланиш даври T бир марта тўлиқ тебраниш учун кетган вақт билан ўлчанади:

$$T = \frac{t}{N} = \frac{5 \cdot 60 \cdot 60 \text{ с}}{5} = 3600 \text{ с; } T = \frac{t}{N} = \frac{5 \cdot 60 \text{ мин}}{5} = 60 \text{ мин;}$$

$$T = \frac{t}{N} = \frac{5 \text{ соат}}{5} = 1 \text{ соат.}$$

Айланма ҳаракатнинг частотаси ν эса вақт бирлиги ичидаги айланиш сони билан ўлчанади:

$$\nu = \frac{N}{t} = \frac{5}{5 \cdot 60 \cdot 60 \text{ с}} = \frac{1}{3600} \text{ с}^{-1}; \quad \nu = \frac{N}{t} = \frac{5}{5 \cdot 60 \cdot 6 \text{ мин}} = \frac{1}{60} \text{ мин}^{-1};$$

$$\nu = \frac{N}{t} = \frac{5}{5 \text{ соат}} = 1 \text{ соат}^{-1}.$$

Текис айланма ҳаракатда бурчакли тезлик ω вақт бирлиги ичидаги бурилиш бурчагига тенг бўлган физик катталиқ бўлиб, у қуйидагига тенгдир:

$$\omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{31,4 \text{ рад}}{5 \cdot 60 \cdot 60 \text{ с}} \cong 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ рад/с}; \quad \omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{31,4 \text{ рад}}{5 \cdot 6 \text{ мин}} =$$

$$= 10,47 \cdot 10^{-2} \text{ рад/мин.}$$

$$\omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{31,4 \text{ рад}}{5 \text{ соат}} = 628 \text{ рад/соат.}$$

Жавоб: Соатнинг минут милининг бурилиш бурчаги $\varphi = 1800^\circ = 31,4$ рад га, айланиш даври $T = 3600 \text{ с} = 60 \text{ мин} = 1$ соатга, айланиш частотаси

$$\nu = \frac{1}{3600 \text{ с}} = \frac{1}{60} \text{ мин}^{-1} = 1 \text{ соат}^{-1} \text{ га ва бурчакли тезлиги:}$$

$$\omega = 1,74 \cdot 10^{-3} \text{ рад/с} = 10,47 \cdot 10^{-2} \text{ рад/мин} = 6,28 \text{ рад/соат.}$$

га тенг.

2-масала. Велосипед ғилдираги $t = 0,5$ мин да $N = 60$ марта текис айланган бўлса, ғилдиракнинг айланиш даври T , айланиш частотаси ν , бурчакли тезлиги ω ва велосипедчининг ҳаракат тезлиги v топилсин. Велосипед ғилдирагининг радиуси $R = 40$ см га тенг.

Берилган: $t = 0,5$ мин = 30 с; $N = 60$; $R = 40$ см = 0,4 м.

Топиш керак: $T = ?$ $\nu = ?$ $\omega = ?$ $v = ?$

Ечилиши: Айланиш даври қуйидаги формуладан аниқланади:

$$T = \frac{t}{N} = \frac{30 \text{ с}}{60} = 0,5 \text{ с.}$$

Айланма ҳаракатнинг айланиш частотаси ν ни қуйидаги формуладан топамиз:

$$\nu = \frac{N}{t} = \frac{60}{30 \text{ с}} = 2 \text{ с}^{-1}.$$

Текис айланма ҳаракатдаги бурчакли тезлик ω ни айланиш частотаси орқали ифодаланган формуладан аниқлаймиз:

$$\omega = 2\pi\nu = 2 \cdot 3,14 \text{ рад} \cdot 2/\text{с}^{-1} = 12,56 \text{ рад/с.}$$

Велосипедчининг ҳаракат тезлиги v ғилдирак гардиши айланма ҳаракатининг қизиқли тезлигига тенг бўлиб, у бурчакли тезлик ω ва радиус R орқали қуйидагича ўзаро боғлангандир:

$$v = \omega R = 12,56 \cdot 1/\text{с} \cdot 0,4 \text{ м} = 5,024 \text{ м/с.}$$

Жавоб: $T = 0,5$ с; $\nu = 2 \text{ с}^{-1}$; $\omega = 12,56 \text{ рад/с}$; $v = 5,024 \text{ м/с.}$

3-масала. Экватордаги нуқтанинг чизиқли тезлиги v ни ва марказга интилма тезланиши $a_{м.н.}$ ни топинг. Ер шарининг радиусини $R = 6400$ км га тенг деб олинг.

Берилган: $R = 6400$ км $= 6 \cdot 4 \cdot 10^6$ м, $T = 24$ соат $= 24 \cdot 60 \cdot 60$ с.

Топиш керак: $v = ?$ $a_{м.н.} = ?$

Ечилиши: Экватордаги нуқтанинг чизиқли тезлиги v , унинг айланиш радиуси R ва айланиш даври T билан боғланган қуйидаги формуладан аниқланади:

$$v = \frac{2\pi R}{T} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6,4 \cdot 10^6 \text{ м}}{24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ с}} = \frac{40,192 \cdot 10^6 \text{ м}}{8,64 \cdot 10^4 \text{ с}} \approx 465 \text{ м/с.}$$

Экватордаги нуқтанинг марказга интилма тезланиши $a_{м.н.}$ бурчакли тезлик ω ва айланиш радиуси R билан қуйидагича боғланган:

$$a_{м.н.} = \omega^2 R.$$

Бунда $\omega = \frac{2\pi}{T}$ бўлганлиги учун,

$$a_{м.н.} = \frac{4\pi^2 R}{T^2} = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 6,4 \cdot 10^6 \text{ м}}{24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ с}^2} = 0,034 \text{ м/с}^2.$$

Жавоб: $v = 465$ м/с; $a_{м.н.} = 0,034$ м/с².

Муस्ताқил ечиш учун масалалар

6.1. Шамол двигателининг ғилдираги $t = 2$ мин да $N = 60$ марта айланса, унинг айланиш даври T , айланиш частотаси ν ва бурчакли тезлиги ω қандай бўлади?

Жавоб: $T = \frac{t}{N} = 2$ с; $\nu = \frac{N}{t} = 0,5$ с⁻¹; $\omega = 2\pi \frac{N}{t} = 3,14$ рад/с.

6.2. Орбитал радиуси $R = 1,5 \cdot 10^8$ км бўлган Ер Қуёш атрофида қандай тезлик v билан айланади?

Жавоб: $v = \frac{2\pi R}{T} = 30$ км/с.

6.3. Шамол двигатели парраклари айланишининг бурчакли тезлиги $\omega = 6$ рад/с. Агар куракчалар учларининг чизиқли тезлиги $v = 20$ м/с бўлса, куракчалар учларининг марказга интилма тезланиши $a_{м.н.}$ ни топинг.

Жавоб: $a_{м.н.} = \omega \cdot v = 120$ м/с².

6.4 Шкив $\omega = 50$ рад/с бурчакли тезлик билан айланмоқда. Айланиш ўқидан $R_1 = 20$ мм ва $R_2 = 60$ мм масофалардаги нуқталарнинг тезликлари v_1 ва v_2 ҳамда марказга интилма тезланишлари a_1 ва a_2 ларни топинг.

Жавоб: $v_1 = \omega R_1 = 1$ м/с; $v_2 = \omega R_2 = 3$ м/с.

$a_1 = \omega^2 R_1 = 50$ м/с²; $a_2 = \omega^2 \cdot R_2 = 150$ м/с².

6.5. Автомобиль эгрилик радиуси $R = 200$ м бўлган йўл бўйлаб $v_1 = 72$ км/соат тезлик билан ҳаракат қилаётган бўлса, унинг марказга интилма тезланиши a_1 ни топинг. Агар автомобилнинг тезлиги икки марта камайса ($v_2 = v_1/2$), марказга интилма тезланиш неча марта ўзгаради?

$$\text{Жавоб: } a_1 = \frac{v_1^2}{R} = 2 \text{ м/с}^2; \quad a_2 = \frac{v_2^2/R}{v_1^2/R} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^2 = 4,$$

6.6. Радиуси $R = 2$ м бўлган айлана бўйлаб текис ҳаракатланаётган жисмнинг марказга интилма тезланиши $a_{\text{м.м.}} = 8$ м/с² га тенг бўлса, жисмнинг айланиш даври T , айланиш частотаси ν , бурчакли тезлиги ω ва чизиқли тезлиги v ларни топинг.

$$\text{Жавоб: } T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{a_{\text{м.м.}}}} = 3,14 \text{ с}; \quad \nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{a_{\text{м.м.}}}{R}} = 0,32 \frac{1}{\text{с}};$$

$$\omega = \sqrt{\frac{a_{\text{м.м.}}}{R}} = 2 \text{ рад/с}; \quad v = \sqrt{a_{\text{м.м.}} \cdot R} = 4 \text{ м/с}.$$

6.7. Бола узунлиги $l = 0,6$ м бўлган игга боғланган тошни вертикал текисликда $\nu = 240$ айл/мин частота билан айлантирмақда. Агар тошнинг тезлиги тик равишда юқорига йўналган пайтда ип узилиб кетса, тош қандай h баландликкача кўтарилади?

$$\text{Жавоб: } h = \frac{4\pi^2 l^2 \nu^2}{2 \cdot g} = 11,6 \text{ м}.$$

6.8. Ернинг сунъий йўлдоши доиравий орбита бўйлаб $v = 8$ км/с тезлик ва $T = 96$ мин/айланиш даври билан ҳаракатланмоқда. Сунъий йўлдошнинг Ер атрофидаги баландлиги h ни топинг. Ернинг радиусини $R = 6400$ км деб олинг.

$$\text{Жавоб: } h = \frac{vT'}{2\pi} - R = 938 \cdot 10^3 \text{ м} = 938 \text{ км}.$$

6.9 Ернинг суткалик ($T = 24$ соат) айланишида Тошкент кенглиги ($\varphi_1 = 41^\circ 20'$) да ва Санкт-Петербург кенглиги ($\varphi_2 = 60^\circ$) да Ер сиртидаги нуқталарнинг v_1 , v_2 чизиқли тезликлари ва a_1 , a_2 марказга интилма тезланишларини топинг. Ернинг радиусини $R = 6400$ км деб олинг.

$$\text{Жавоб: } v_1 = \frac{2\pi R}{T} \cos \varphi_1 = 149 \text{ м/с}; \quad v_2 = \frac{2\pi R}{T} \cos \varphi_2 = 232 \text{ м/с};$$

$$a_1 = \frac{4\pi^2 R}{T^2} \cos \varphi_1 = 1,08 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}^2; \quad a_2 = \frac{4\pi^2 R}{T^2} \cos \varphi_2 = 1,69 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}^2.$$

6.10. Самолётдаги йўловчига Қуёш осмонда қўзғалмай тургандек туюлиши учун самолёт экватор бўйлаб Шарқдан Ғарбга томон қандай v тезлик билан ҳаракатланиши керак? Ернинг радиусини $R = 6400$ км деб олинг.

$$\text{Жавоб: } v = \frac{2\pi R}{T} = 465 \text{ м/с}.$$

6.11. Бир-биридан $l = 0,5$ масофада икки диск маҳкамланган ўқ $\nu = 1200$ айл/мин частотага мос бурчакли тезлик билан айланма ҳаракат қилмоқда. Диск ўқига параллел равишда учи бораётган ўқ дисklarни тешиб ўтади. Бунда иккинчи дискдаги тешик биринчисига нисбатан $\varphi = 9^\circ$ бурчакка силжиган бўлса, ўқнинг тезлиги v ни топинг.

$$\text{Жавоб: } v = \frac{2\pi l \nu}{\varphi} = 40 \text{ м/с.}$$

6.12. Айланма ҳаракат қилаётган ғилдирак гардишининг чизиқли тезлиги v_1 гардишдан айланиш ўқига томон $\Delta R = 12$ см масофада бўлган нуқтанинг v_2 чизиқли тезлигидан 3 марта катта ($v_1 = 3v_2$) бўлса, ғилдиракнинг радиуси R ни топинг.

$$\text{Жавоб: } R = \Delta R \cdot \frac{v_1/v_2}{v_1/v_2 - 1} = 0,18 \text{ м.}$$

6.13. Водород атомидаги электрон тахминан $R = 5 \cdot 10^{-11}$ м радиусли Бор орбитаси бўйлаб ўзгармас $v = 2,2 \cdot 10^6$ м/с тезлик билан ҳаракатланса, электроннинг ядро атрофидаги айланма ҳаракатининг бурчакли тезлиги ω ва марказга интилма тезланиши $a_{\text{м.н.}}$ ларни топинг.

$$\text{Жавоб: } \omega = \frac{v}{R} = 4,4 \cdot 10^{16} \text{ рад/с; } a_{\text{м.н.}} = \frac{v^2}{R} = 9,68 \cdot 10^{23} \text{ м/с}^2.$$

II-БОБ. ДИНАМИКАНИНГ ФИЗИК АСОСЛАРИ

● Ньютоннинг иккинчи қонуни: жисмнинг куч таъсирида олган тезланиши \vec{a} куч \vec{F} га тўғри пропорционал бўлиб, жисм массаси m га тесқари пропорционалдир:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}. \quad (2.1)$$

● Жисмнинг импульси \vec{K} унинг массаси m нинг тезлиги v га кўпайтмасига тенгдир:

$$\vec{K} = m\vec{v} \quad (2.2)$$

● Жисм импульсини ўзгариши $\Delta\vec{K}$ жисмга таъсир қилувчи куч импульси $\vec{F} \cdot \Delta t$ га тенгдир:

$$\Delta\vec{K} = \vec{F} \cdot \Delta t \quad (2.3)$$

● Импульснинг сақланиш қонуни: ёпиқ системадаги жисмлар импульсларининг геометрик (вектор) йиғиндиси ўзгармасдир:

$$\vec{K}_1 + \vec{K}_2 + \dots + \vec{K}_n = \sum_{i=1}^n \vec{K}_i = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = \text{const} \quad (2.4)$$

Агар система иккита жисмдан ташкил топган бўлса ($n = 2$)

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2 = \text{const} \quad (2.4a)$$

● Механикадаги кучлар:

1) *эластиклик кучи* $F_{\text{эл}}$ Гук қонунига биноан абсолют деформация Δl га пропорционалдир:

$$F_{\text{эл}} = -k\Delta l. \quad (2.5)$$

Бунда k — эластиклик (бикрлик) коэффиценти (пружинанинг қаттиқлик коэффиценти)

2) *оғирлик кучи* \vec{P} жисм массаси m нинг эркин тушиш тезланиши \vec{g} га кўпайтмасига тенгдир:

$$P = mg. \quad (2.6)$$

3) *бутун олам тортишиш кучи* \vec{F} жисмлар массаси m_1 ва m_2 нинг кўпайтмасига тўғри пропорционал бўлиб, улар орасидаги масофа r нинг квадратига тескари пропорционалдир:

$$F = \nu \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}, \quad (2.7)$$

бунда $\nu = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/\text{кг} \cdot \text{с}^2$ — гравитацион доимий деб аталувчи пропорционаллик коэффиценти.

4) *ишқаланиш кучи* $F_{\text{ишқ}}$ нормал босим кучи F_N га пропорционалдир:

$$F_{\text{ишқ}} = kF_N, \quad (2.8)$$

бунда k — ишқаланиш коэффиценти.

5) *марказга интилма куч* $F_{\text{ми}}$ жисм массаси m нинг марказга интилма тезланиш $a_{\text{м.и}}$ га кўпайтмасига тенгдир;

$$F_{\text{м.и}} = m \cdot a_{\text{м.и}} = m \frac{v^2}{R} = m\omega^2 R = m \cdot 4\pi^2 \nu^2 R = m \frac{4\pi^2 R}{T^2}. \quad (2.9)$$

● *Ўзгармас куч* F нинг жисмини s масофага силжитганда бажарган иши A

$$A = F \cdot s \cdot \cos\alpha, \quad (2.10)$$

бунда α — куч йўналиши билан кўчиш орасидаги бурчак.

● Вақт бирлиги ичида бажарилган ишга миқдор жиҳатдан тенг бўлган физик катталиққа *қувват* дейилади, яъни:

$$N = \frac{A}{t} = \frac{F_T \cdot s}{t} = F_T \cdot v, \quad (2.11)$$

бунда F_T — механизмни ҳаракатга келтириш кучи, v — эса унинг тезлиги.

● Ҳаракатдаги жисмнинг иш бажара олиш қобилиятига *кинетик энергия* дейилиб, у жисм массаси m нинг тезлик v нинг квадратига кўпайтмасининг ярмига тенгдир:

$$W_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{K^2}{2m}, \quad (2.12)$$

бунда $K = mv$ — жисмнинг импульси.

● Нисбатан тинч турган жисмларнинг иш бажара олиш қобилиятига ўзаро *потенциал энергия* дейилади.

1) Деформацияланган жисм (пружина) нинг *потенциал энергияси*

$$W_n = \frac{k \cdot \Delta l^2}{2} \quad (2.13)$$

бунда k —жисм (пружина) нинг қаттиқлик (бикрлик) коэффициенти.

2) икки жисмнинг гравитацион ўзаро таъсирлашув потенциал энергияси:

$$W_n = \gamma \frac{m_1 \cdot m_2}{r}, \quad (2.14)$$

бунда γ —гравитацион доимий, m_1 ва m_2 ўзаро таъсирлашувчи жисмларнинг массалари, r —уларнинг орасидаги масофа.

3) оғирлик кучи майдонида жойлашган жисмнинг потенциал энергияси:

$$W_n = Ph = mgh, \quad (2.15)$$

бунда P —жисмнинг оғиолиги, h —жисмнинг Ер сиртидан баландлиги, g —эркин тушиш тезланиши.

● *Энергиянинг сақланиш қонуни*: ёпиқ системадаги жисмларнинг тўлиқ механик энергияси W_T ўзгармас бўлиб, бир турдан иккинчи турга, яъни кинетик энергия W_K дан потенциал энергия W_n га ва аксинча, айланиб туради:

$$W_T = W_K + W_n = \frac{mv^2}{2} + mgh = \text{const.} \quad (2.16)$$

7-§. ТЎҒРИ ЧИЗИҚЛИ ҲАРАКАТ ДИНАМИКАСИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Жисмлар эркин тушаётганда нима учун вертикалдан шарққа томон оғади? Шарча экваторда чуқурлиги $h = 180$ м бўлган шахтага эркин тушганда шарққа томон қанча Δs масофага оғади? Шу асосда Ернинг инерциал ёки нонинерциал система эканлиги ҳақида хулоса чиқаринг. Ҳавонинг қаршилигини ҳисобга олманг. $g \approx 10$ м/с² деб олинг.

Берилган: $g = 10$ м/с²; $T = 24$ соат = $24 \cdot 60 \cdot 60$ с; $h = 180$ м.

Топиш керак: $\Delta s = ?$

Ечилиши. Шарча инерцияси билан шарққа томон $\Delta s = \Delta v \times t$ масофага оғади, бу ерда Δv —ер сирти ва шахта тубидаги нукталар ҳаракат тезликларининг фарқи, t —шарчанинг тушиш вақти.

$$\Delta v = \frac{2\pi R}{T} - \frac{2\pi(R-h)}{T} = \frac{2\pi h}{T}$$

бунда R —Ернинг экваториал радиуси, T —Ернинг суткалик

айланиш даври ва h —шахтанинг чуқурлиги $h = \frac{gT^2}{2}$ бўлганлиги учун $t = \sqrt{2h/g}$ бўлиб, қуйидагини ҳосил қиламиз.

$$\Delta s = \Delta v \cdot t = \frac{2\pi h \sqrt{2gh}}{gT} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 180 \text{ м} \sqrt{2 \cdot 10 \text{ м/с}^2 \cdot 180 \text{ м}}}{10 \text{ м/с}^2 \cdot 2 \cdot 60 \cdot 60 \text{ с}} \approx 0,08 \text{ м} = 8 \text{ см.}$$

Жавоб: $\Delta s = 8$ см. Эркин тушаётган жисм Ернинг суткалик айланишидаги инерция кучи таъсирида шарққа томон оғади. Жисмга шарққа томон йўналган кучлар таъсир қилмаса ҳам, унинг вертикал йўналишдан шу томонга огиши Ернинг воинерциал система эканлигини кўрсатади.

2-масала. Блокдан ўтказилган ипнинг икки учига массалари $m_1 = 90$ г ва $m_2 = 110$ г бўлган тошлар осилган. Агар оғирроқ юкни юқорига кўтариб қўйиб юборилган бўлса, тошлар қандай a тезланиш билан ҳаракатланадилар? Ҳаракат бошлангандан $t = 2$ с ўтгандан кейин тошлар қандай v_t тезликка эришадилар ва шу вақт ичида қандай h баландликдан тушадилар?

Берилган: $m_1 = 90 \text{ г} = 9 \cdot 10^{-2} \text{ кг}$; $m_2 = 110 \text{ г} = 11 \cdot 10^{-2} \text{ кг}$; $v_0 = 0$; $t = 2$ с.

Топиш керак: $a = ?$ $v_t = ?$ $h = ?$

Ечилиши. Ньютоннинг иккинчи қонунига кўра тезланиш $a = \frac{F}{m}$ бўлади, бунда F —тошлар оғирликлари айирмасига тенг бўлган куч, яъни $F = P_2 - P_1 = (m_2 - m_1)g$; $m = m_1 + m_2$ эса ҳаракатланаётган системанинг массаси. У ҳолда изланаётган тезланиш:

$$a = g \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} = 9,8 \text{ м/с}^2 \frac{11 \cdot 10^{-2} \text{ кг} - 9 \cdot 10^{-2} \text{ кг}}{9 \cdot 10^{-2} \text{ кг} + 11 \cdot 10^{-2} \text{ кг}} = 0,98 \text{ м/с}^2.$$

Текис тезланувчан ҳаракатнинг бошланғич тезлиги v_0 нолга тенг бўлганлиги учун, унинг t вақтдаги оний тезлиги v_t қуйидаги формуладан аниқланади:

$$v_t = a \cdot t = 0,98 \text{ м/с}^2 \cdot 2 \text{ с} = 1,96 \text{ м/с.}$$

Ва ниҳоят, шу t вақт ичидаги h тушиш баландлиги эса қуйидагига тенг бўлади:

$$h = \frac{a \cdot t^2}{2} = \frac{0,98 \text{ м/с}^2 \cdot 4 \text{ с}^2}{2} = 1,96 \text{ м}$$

Жавоб: $a = 0,98 \text{ м/с}^2$; $v_t = 1,96 \text{ м/с}$, $h = 1,96 \text{ м}$.

3-масала. Тарози палласидаги сувли идиш мувозанатга келтирилган. Ипга осилган $m = 1$ кг массали пўлат парчасини палладаги идишга теккизмасдан сувга тушириб сув ичида тутиб турилса, мувозанат бузиладими? Бунда тарозининг сувли идиш қўйилган палласига қандай F куч таъсир қилади? Сув ва пўлатнинг зичлигини $\rho_0 = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ва $\rho = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ деб олинг.

Берилган: $\rho_0 = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; $\rho = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.
 Топиш керак: $F = ?$

Ечилиши. Суюқликка туширилган пўлат бўлагига суюқлик томонидан юқорига йўналган $F_A = \rho_0 g V$ Архимед кучи таъсир қилади, бунда ρ_0 —суюқликнинг зичлиги, V —суюқликка туширилган жисмнинг ҳажми бўлиб, $m = \rho V$ формуладан $V = \frac{m}{\rho}$ бўлади. У ҳолда суюқликдаги жисмга таъсир қилувчи Архимед кучи F_A қуйидагига тенг бўлади:

$$F = F_A = \rho_0 g V = \rho_0 g \frac{m}{\rho}.$$

Жавоб: Ньютоннинг учинчи қонунига биноан суюқликдаги пўлат ҳам Архимед кучига тенг ва пастга қараб йўналган куч билан тарози палласига таъсир қилади. Бинобарин, мувозанат бузилади ва сувли идиш турган тарози палласи пастга оғади.

Тарози палласига таъсир қилувчи F кучни юқоридаги формула асосида осонгина ҳисоблаш мумкин:

$$F = \rho_0 g \frac{m}{\rho} = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \frac{1 \text{ кг}}{7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3} = 1,26 \text{ Н}.$$

Мустақил ечиш учун масалалар

7.1. Массаси $m = 12 \text{ кг}$ бўлган тинч турган жисмга $t = 8 \text{ с}$ давомида $F = 6 \text{ Н}$ куч таъсир қилган бўлса, жисмнинг олган тезланиши a , шу вақтда эришган тезлиги v_t , ўтган йўли s ва ҳаракатининг ўртача тезлиги $v_{\text{ўрт}}$ ни топинг.

$$\text{Жавоб: } a = \frac{F}{m} = 0,5 \text{ м/с}^2; \quad v_t = \frac{F}{m} t = 4 \text{ м/с}; \quad s = \frac{F \cdot t^2}{2m} = 16 \text{ м}; \quad v_{\text{ўрт}} = \frac{F \cdot t}{2m} = 2 \text{ м/с}.$$

7.2. Юки билан биргаликда массаси $m = 1200 \text{ кг}$ бўлган „Москвич“ автомобили жойидан қўзғалиб, $t = 10 \text{ с}$ давомида текис тезланувчан ҳаракатланиб, $s = 100 \text{ м}$ масофани ўтган бўлса, ҳаракатнинг тезланиши a , автомобилнинг тортиш кучи F ва шу вақт ичида эришган тезлиги v_t ни топинг.

$$\text{Жавоб: } a = \frac{2s}{t^2} = 2 \text{ м/с}^2; \quad F = \frac{2ms}{t^2} = 2,4 \text{ кН}; \quad v_{\text{ўрт}} = \frac{2s}{t} = 20 \text{ м/с}.$$

7.3. Массаси $m = 2 \text{ кг}$ бўлган тинч турган жисмга $t = 5 \text{ с}$ давомида $F = 4 \text{ Н}$ куч таъсир қилади. Жисм қандай a тезланиш билан ҳаракатланади, у қандай v_t тезлик олади ва шу вақт ичида у қанча s йўлни ўтади?

$$\text{Жавоб: } a = \frac{F}{m} = 2 \text{ м/с}^2; \quad v_t = \frac{F}{m} t = 10 \text{ м/с}; \quad s = \frac{F t^2}{2m} = 25 \text{ м}.$$

7.4. Массаси $m = 3$ кг бўлган жисмга $F = 0,6$ Н куч таъсир қилса, жисм қандай a тезланиш билан ҳаракатланади? У ҳаракат бошлангандан $t = 12$ с ўтгандан кейин қандай v_t тезликка эришади ва қанча s йўлни ўтади?

$$\text{Жавоб: } a = \frac{F}{m} = 0,2 \text{ м/с}^2; v_t = \frac{F \cdot t}{m} = 2,4 \text{ м/с}; s = \frac{F \cdot t^2}{2m} = 14,4 \text{ м.}$$

7.5. Ўзгармас F куч таъсирида m_1 массали жисм $a_1 = 3$ м/с² тезланиш билан, m_2 массали жисм эса $a_2 = 7$ м/с² тезланиш билан ҳаракатланса, шу F куч таъсирида бу икки жисм бир-галикда қандай a тезланиш билан ҳаракатланади?

$$\text{Жавоб: } a = \frac{a_1 \cdot a_2}{a_1 + a_2} = 2,1 \text{ м/с}^2.$$

7.6. Ўзгармас F куч таъсирида аравача маълум бир t вақт оралиғида $s_1 = 90$ см масофани ўтади. Унга $m_2 = 250$ г юк қўйилганда эса шу куч таъсирида $s_2 = 30$ см масофани ўтади, аравачанинг массаси m_1 ни топинг.

$$\text{Жавоб: } m_1 = m_2 \frac{s_2}{s_1 - s_2} = 0,375 \text{ кг} = 375 \text{ г.}$$

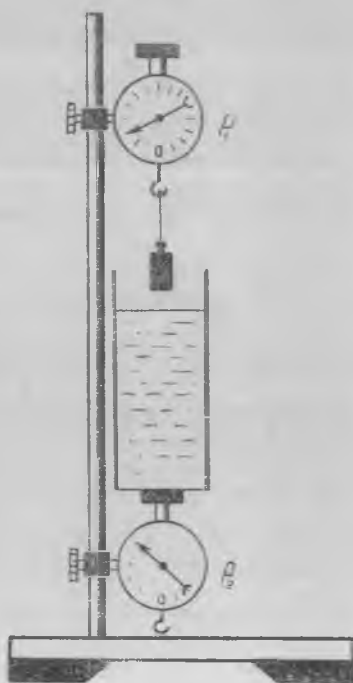
7.7. Массаси $m = 12$ кг бўлган снаряд порох газининг $F = 1,2$ МН ли босим кучи таъсирида ствол ичида $t = 5$ вақт давомида ҳаракатланган бўлса, у тўпдан қандай v_t тезлик билан отилиб чиққан?

$$\text{Жавоб: } v_t = \frac{F}{m} t = 500 \text{ м/с.}$$

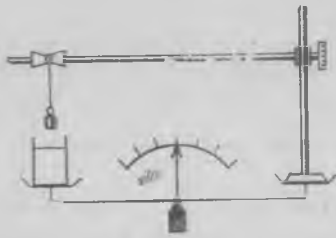
7.8. Ер сиртидан $h = 650$ км баландликда $m = 1000$ тонна массали ракета Ернинг сунъий йўлдошидан $v_0 = 8$ км/с бошланғич тезлик билан Ойга томон учган. Ракета двигателининг тортиш кучи $F = 30$ МН бўлса, ракетанинг учиш бошланишидан $t = 100$ с ўтгач Ер сиртидан қандай s масофада бўлишини топинг.

$$\begin{aligned} \text{Жавоб: } s &= h + v_0 t + \frac{F \cdot t^2}{2m} = \\ &= 1,6 \cdot 10^6 \text{ м} = 1600 \text{ км.} \end{aligned}$$

7.9. 2.1-расмда кўрсатилган цилиндрсимон алюминий жисм осилган ва устига сувли идиш қўйилган динамометрлар мос



2.1-расм



2.2- расм

равишда $P_1 = 6$ Н ва $P_2 = 8$ Н оғирликларни кўрсатади. Агар юқоридаги динамометрга осилган жисми идишнинг тубига теккизмай суюқликка тўлиқ ботгунча туширилса, юқоридаги ва пастдаги динамометрлар қандай F_1 ва F_2 кучларни кўрсатади? Сув ва алюминийнинг зичликлари мос равишда $\rho_0 = 1 \cdot 10^3$ кг/м³ ва $\rho = 2,7 \cdot 10^3$ кг/м³ га тенг.

Жавоб: $F_1 = P_1 \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) = 3,78$ Н; $F_2 = P_2 \left(1 + \frac{\rho_0}{\rho}\right) = 10,96$ Н.

7.10. Ричагли тарозида сув қуйилган идиш билан штативга осилган, массаси $m = 400$ г бўлган мисдан ясалган қадоқ тош мувозанатлаштирилган (2.2- расм). Сўнгра ип узайтирилиб, тош сувга ботирилса, мувозанат бузилади. Мувозанатни тиклаш учун тарозининг ўнг палласига қанча m массали юк қўйиш керак? Сувнинг ва миснинг зичликлари $\rho_0 = 1 \cdot 10^3$ кг/м³ ва $\rho = 8,0 \cdot 10^3$ кг/м³ га тенг.

Жавоб: $m_1 = 2m \frac{\rho_0}{\rho} = 9 \cdot 10^{-2}$ кг = 90 г.

6-§. ИМПУЛЬС. ИМПУЛЬСНИНГ САҚЛАНИШ ҚОНУНИ.

Масалалар ечиш намуналари

1- масала. Массаси $m_1 = 2$ кг бўлган жисм $v_1 = 4$ м/с тезлик билан горизонтал ҳаракатланиб, ўз йўлидаги $m_2 = 0,5$ кг массали жисм билан ноэластик тўқнашади. Иккинчи жисм 1) тинч ($v_2 = 0$) турганда; 2) биринчи жисмнинг ҳаракат йўналишида $v_2 = 2$ м/с тезлик билан ҳаракатланганда; 3) биринчи жисмга қарама-қарши $v_2 = -2$ м/с тезлик билан ҳаракатланганда жисмларнинг урилишдан кейинги u' , u'' ва u''' тезликлари топилсин.

Берилган: $m_1 = 2$ кг; $v_1 = 4$ м/с; $m_2 = 0,5$ кг: 1) $v_2 = 0$; 2) $v_2 = 2$ м/с; 3) $v_2 = -2$ м/с.

Топиш керак: 1) $u' = ?$ 2) $u'' = ?$ 3) $u''' = ?$

Ечилиши. Ноэластик урилишда иккала жисм бир-бири билан тўқнашгандан сўнг бир хил u тезлик билан ҳаракат қилади. Импульснинг сақланиш қонунига асосан:

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{u}. \quad (1)$$

Урилиш марказий бўлганлиги туфайли \vec{v}_1 , \vec{v}_2 ва \vec{u} тезликлар бир тўғри чизиқ бўйлаб йўналганлиги учун (1) ифоданинг скаляр кўриниши ҳам бир хил бўлади:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) u. \quad (1a)$$

Бундан изланаётган u тезлик қуйидагига тенг бўлади;

$$u = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} \quad (2)$$

Ҳисоблашларни бажарамиз:

$$1) u' = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} = \frac{2 \text{ кг} \cdot 4 \text{ м/с}}{2 \text{ кг} + 0,5 \text{ кг}} = \frac{8 \text{ кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}}{2,5 \text{ кг}} = 3,2 \text{ м/с};$$

$$2) u'' = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} = \frac{2 \text{ кг} \cdot 4 \text{ м/с} + 0,5 \text{ кг} \cdot 2 \text{ м/с}}{2 \text{ кг} + 0,5 \text{ кг}} = \frac{9 \text{ кг} \cdot \text{м/с}}{2,5 \text{ кг}} = 3,6 \text{ м/с};$$

$$3) u''' = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} = \frac{2 \text{ кг} \cdot 4 \text{ м/с} - 0,5 \text{ кг} \cdot 2 \text{ м/с}}{2 \text{ кг} + 0,5 \text{ кг}} = \frac{7 \text{ кг} \cdot \text{м/с}}{2,5 \text{ кг}} = 2,8 \text{ м/с}.$$

Жавоб: 1) $u' = 3,2 \text{ м/с}$; 2) $u'' = 3,6 \text{ м/с}$; 3) $u''' = 2,8 \text{ м/с}$;

2-масала. Ракетанинг реактив двигатели ёниш маҳсулотларини улушлар билан отиб чиқаради. Агар ёниш маҳсулоти улушининг массаси $m=0,4 \text{ кг}$, отилиб чиқиш тезлиги $v=1 \text{ км/с}$ бўлиб, двигателда секундига $N=20$ марта ($v=20 \text{ 1/с}$) портлаш юз берса, $t=5 \text{ с}$ нинг охирида ракета қандай v_N тезликка эришади? Ракетанинг бошланғич массаси $M=300 \text{ кг}$ га, бошланғич тезлиги эса нолга тенг. Ҳавонинг қаршилигини ҳисобга олманг.

Берилган: $m=0,4 \text{ кг}$; $v=1 \text{ км/с} = 1 \cdot 10^3 \text{ м/с}$; $M=300 \text{ кг}$; $v=20 \text{ 1/с}$; $t=5 \text{ с}$; $N=20$.

Топиш керак: $v_N = ?$

Ечилиши. Ракетадан биринчи улуш газ чиққандан кейинги ракетанинг тезлигини v_1 , иккинчи, учинчи ва ҳоказо N инчи улуш газ чиққандаги тезликларини мос равишда v_2, v_3 ва ҳоказо v_N билан белгилаймиз. Ҳаракат бошлангунга қадар импульснинг йиғиндиси нолга тенг, U ҳолда импульснинг сақланиш қонунига биноан, биринчи улуш газ чиққандан кейинги v_1 тезлик учун қуйидаги тенгламани ҳосил қиламиз:

$$(M - m)v_1 - mv = 0,$$

бундан

$$v_1 = \frac{mv}{M - m} \quad (1)$$

Иккинчи улуш газ чиққандан кейинги v_2 тезликни (1) га асосан аниқласак:

$$(M - m)v_1 = (M - 2m)v_2 - mv,$$

бундан

$$v_2 = \frac{2mv}{M - 2m} \quad (2)$$

бундаги $(M - m)v_1$ — ракетанинг иккинчи улуш газ чиққунга қадар бўлган импульсдир.

Ракетанинг учинчи улуш газ чиққандан кейинги v_3 тезлиги ҳам (2) га асосан қуйидагича аниқланади:

$$(M - 2m)v_2 = (M - 3m)v_3 - mv$$

бундан

$$v_3 = \frac{3mv}{M - 3m} \quad (3)$$

Шундай қилиб, (1), (2), (3) тенгламаларга мос равишда ракетанинг N та портлашдан кейинги v_N тезлиги қуйидагига тенг бўлади:

$$v_N = \frac{Nmv}{M - Nm} \quad (4)$$

Фараз қилайлик, t вақт ичун N марта портлаш юз берган бўлса, $N = vt$ бўлганлиги учун:

$$\begin{aligned} v_N &= v \frac{mv \cdot t}{M - mvt} = 1 \cdot 10^3 \text{ м/с} \frac{0,4 \text{ кг} \cdot 20 \cdot 1/\text{с} \cdot 5\text{с}}{300 \text{ кг} - 0,4 \text{ кг} \cdot 20 \cdot 1/\text{с} \cdot 5\text{с}} = \\ &= 1 \cdot 10^3 \text{ м/с} \frac{40 \text{ кг}}{300 \text{ кг} - 40 \text{ кг}} = \frac{4 \cdot 10^4 \text{ м/с}}{260} = 153,4 \text{ м/с}. \end{aligned}$$

Жавоб: $v_N = 153,4 \text{ м/с}$.

3- масала. Сокин сувда турган, узунлиги $L = 3 \text{ м}$ ва масаси $M = 150 \text{ кг}$ бўлган қайиқнинг қуйруғидан $m = 75 \text{ кг}$ масаси одам учига ўтса, қайиқ қанча s масофага силжийди? Сувнинг қиршилигини ҳисобга олманг.

Берилган: $l = 3 \text{ м}$; $M = 150 \text{ кг}$; $m = 75 \text{ кг}$.

Топиш керак: $s = ?$

Ечилиши. Агар одамнинг қайиққа нисбатан тезлигини \vec{v} билан, қайиқнинг сувга нисбатан тезлигини \vec{u} билан белгиласак, одамнинг сувга нисбатан тезлиги $(\vec{v} + \vec{u})$ тенг бўлади, у ҳолда сувга нисбатан импульснинг сақланиш қонуни қуйидаги кўринишда бўлади:

$$m(\vec{v} + \vec{u}) + M\vec{u} = 0. \quad (1)$$

Одам ва қайиқнинг \vec{v} ва \vec{u} тезликлари бир тўғри чизиқ бўйлаб қарама-қарши йўналганлиги учун:

$$m(v - u) - Mu = 0, \quad (2)$$

бунда $v = l/t$ ва $u = s/t$ бўлиб булар (2) га қўйилса:

$$m\left(\frac{l}{t} - \frac{s}{t}\right) = M \frac{s}{t}. \quad (3)$$

Бундан қайиқнинг силжиши s қуйидагига тенг бўлади:

$$s = l \frac{m}{M + m} = 3 \text{ м} \frac{75 \text{ кг}}{150 \text{ кг} + 75 \text{ кг}} = \frac{225 \text{ м} \cdot \text{кг}}{225 \text{ кг}} = 1 \text{ м}.$$

Жавоб: Қайиқ $s = 1 \text{ м}$ га силжийди.

МУСТАҚИЛ ЕЧИШ УЧУН МАСАЛАЛАР

8.1. Массаси $m=2$ т бўлган автомобиль тўғри чизиqli ҳаракатланиб, тезлигини $v_1 = 36$ км/соат дан $v_2=72$ км/соат гача оширган бўлса, импульснинг ўзгариши ΔK ни топинг.

Жавоб: $\Delta K = m(v_2 - v_1) = 2 \cdot 10^4$ кг·м/с.

8.2. Горизонтал йўлда $v_1 = 1,2$ м/с ўзгармас тезлик билан ҳаракатланаётган $m_1 = 800$ кг массали вагонеткага юқоридан $m_2 = 400$ кг тошқўмир ташланса, вагонетка қандай v_2 тезлик билан ҳаракатланади?

Жавоб: $v_2 = v_1 \frac{m_1}{m_1 + m_2} = 0,8$ м/с.

8.3. $m_1 = 5$ кг массали милтиқдан $m_2 = 5 \cdot 10^{-3}$ кг массали ўқ $v_2 = 600$ м/с тезлик билан отилиб чиқса, милтиқнинг орқага тегиш тезлиги v_1 ни топинг.

Жавоб: $v_1 = v_2 \frac{m_2}{m_1} = 0,6$ м/с.

8.4. $v=10$ м/с тезлик билан учиб бораётган граната портлаб, $m_1=0,6$ кг ва $m_2=0,4$ кг массали бўлақларга парчаланган. Гранатанинг катта парчаси дастлабки йўналишда $v_1=25$ м/с тезлик билан ҳаракатланган бўлса, кичик парчанинг тезлиги v_2 ни топинг.

Жавоб: $v_2 = \frac{(m_1 + m_2)v - m_1 v_1}{m_2} = 12,5$ м/с.

8.5. Мушакнинг массаси $m_1 = 600$ г, мушак ичидаги модданинг ёнишидан ҳосил бўлган газнинг массаси $m_2 = 15$ г. Шу газлар мушакдан $v_2 = 800$ м/с тезлик билан учиб чиқса, мушак қандай v_1 тезлик билан огилади?

Жавоб: $v_1 = v_2 \frac{m_2}{m_1} = 20$ м/с.

8.6. Массаси $m_1 = 20$ кг бўлган снаряд горизонтал йўналишда $v_1 = 500$ м/с тезлик билан учиб бориб, платформага ортилган қумга тикилди. Платформа билан қумнинг массаси $m_2 = 10$ т бўлса, снаряд зарбидан платформа қандай v_2 тезлик билан ҳаракатланади?

Жавоб: $v_2 = v_1 \frac{m_1}{m_1 + m_2} = 1$ м/с.

8.7. Муз остида турган конькичи $v_1 = 5$ м/с тезлик билан $m_1 = 10$ кг массали тошни горизонтга $\alpha = 30^\circ$ бурчак остида улоқтиради. Агар конькичининг массаси $m_2 = 64$ кг бўлса, унинг ҳаракатдаги бошланғич v_2 тезлиги қандай бўлади?

Жавоб: $v_2 = v_1 \frac{m_1 \cos \alpha}{m_2} = 0,68$ м/с.

8.8. Сокин сувдаги солда турган одам солга нисбатан $v_1 = 5$ м/с тезлик билан ҳаракатланади. Одамнинг массаси $m_1 = 100$ кг, солнинг массаси эса $m_2 = 5000$ кг бўлса, сол сувда қандай v_2 тезлик билан ҳаракатланади?

Жавоб: $v_2 = v_1 \frac{m_1}{m_1 + m_2} \approx 0,1$ м/с.

8.9. Массаси $m_1 = 990$ г бўлган горизонтал сиртда ётган жисмга $m_2 = 10$ г массали ўқ келиб тегди ва унда тикилиб қолди. Агар ўқнинг горизонтал йўналган тезлиги $v_2 = 700$ м/с ва жисм билан сирт ўртасидаги ишқаланиш коэффициентини $k = 0,05$ бўлса, ўқ зарбидан ҳаракатга келган жисм тўхтагунча қанча s масофани ўтган?

Жавоб: $s = \frac{v_2}{2kg} \left(\frac{m_2}{m_1 + m_2} \right)^2 = 49$ м.

8.10. Массаси $m_1 = 650$ г бўлган ракетадан $m_2 = 400$ г портловчи модда бир онда ёнганда газлар $v_2 = 400$ м/с тезлик билан отилиб чиқади. Агар ҳавонинг қаршилиги кўтарилиш баландлигини $h = 5$ марта камайtirса, ракета қандай h баландликкача кўтарилади?

Жавоб: $h = \frac{v^2 (m_2)^2}{2gN^2 m_1} = 618$ м.

9-§. ЭЛАСТИКЛИК КУЧЛАРИ. ГУК ҚОНУНИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Юк автомобили массаси $m = 2 \cdot 10^3$ кг бўлган „Волга“ автомашинасини шатакка олиб кетаётганда текис тезланувчан ҳаракатланиб, $t = 50$ с да $s = 400$ м йўлни ўтган бўлса, бикрлик коэффициентини $k = 2 \cdot 10^6$ Н/м бўлган троснинг чўзилиши Δl топилсин.

Берилган: $m = 2 \cdot 10^3$ кг; $v_0 = 0$; $t = 50$ с; $s = 400$ м; $k = 2 \cdot 10^6$ Н/м.

Топиш керак: $\Delta l = ?$

Ечилиши. Гук қонунига биноан $F_{эл}$ эластиклик кучи деформация катталиги Δl га пропорционалдир, яъни $F_{эл} = -k\Delta l$. Деформация—троснинг чўзилиши Δl нинг абсолют қиймати: $\Delta l = \frac{F_{эл}}{k}$. Троснинг $F_{эл}$ эластиклик кучи „Волга“ га тезланиш

берувчи кучдир. Бинобарин, $F = ma$, $s = \frac{at^2}{2}$, бундан $a = \frac{2s}{t^2}$ бўлади. У ҳолда изланаётган катталик қуйидагига тенг бўлади:

$$\Delta l = \frac{F_{эл}}{k} = \frac{2ms}{kt^2} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot 400 \text{ м}}{2 \cdot 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}} \cdot 25 \cdot 10^2 \text{ с}^2} = \frac{16 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м} / \text{с}^2}{50 \text{ Н/м}} =$$

$$= 0,32 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,32 \text{ мм.}$$

Жавоб: $\Delta l = 0,32$ мм.

2- масала. Узунлиги $l = 3$ м ва диаметри $d = 3$ см бўлган пўлаг стерженга $m = 3 \cdot 10^3$ кг массали юк осилган бўлса, стерженнинг σ кучланиши, ϵ нисбий ва Δl абсолют узайиши топилсин. Пўлат учун Юнг модули $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па ($\frac{H}{M^2}$).

Берилган: $l = 3$ м; $d = 3$ см $= 3 \cdot 10^{-2}$ м; $m = 3 \cdot 10^3$ кг;
 $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па.

Топиш керак: $\sigma = ?$ $\epsilon = ?$ $\Delta l = ?$

Ечилиши. Стерженга осилган юкнинг $P = mg$ оғирлиги ҳосил қилган σ механик кучланиш қуйидагича аниқланади:

$\sigma = \frac{P}{S} = \frac{mg}{S}$, бунда $S = \frac{\pi d^2}{4}$ (стерженнинг кўндаланг кесим юзи) бўлганлиги учун:

$$\sigma = \frac{4mg}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 3 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2}{3,14 \cdot 9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2} = 41,6 \cdot 10^6 \frac{H}{M^2} = 41,6 \cdot 10^6 \text{ Па} = 41,6 \text{ МПа}.$$

Гук қонунига биноан σ механик кучланиш ϵ нисбий узайишга тўғри пропорционалдир, яъни $\sigma = \epsilon E$, (унда E —Юнг модули. У ҳолда нисбий узайиш ϵ қуйидагича аниқланади:

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{41,6 \cdot 10^6 \text{ Па}}{2 \cdot 10^{11} \text{ Па}} = 20,8 \cdot 10^{-6} = 2,08 \cdot 10^{-4}.$$

Нисбий узайишнинг ифодаси $\epsilon = \frac{\Delta l}{l}$ дан абсолют узайиш Δl ни осонгина аниқлаш мумкин:

$$\Delta l = \epsilon l = 2,08 \cdot 10^{-4} \cdot 3 \text{ м} = 6,24 \cdot 10^{-4} \text{ м} = 0,624 \text{ мм}$$

Жавоб: $\sigma = 41,6$ МПа; $\epsilon = 2,08 \cdot 10^{-4}$; $\Delta l = 0,624$ мм.

3- масала. Узунлиги $l = 5$ м ва кўндаланг кесими юзи $S = 2,1$ мм² бўлган вертикал осилган симнинг учига $m = 6$ кг юк осилганда у $\Delta l = 0,7$ мм га чўзилган сим материали учун Юнг модули E топилсин.

Берилган: $l = 5$ м; $S = 2,1$ мм² $= 2,1 \cdot 10^{-6}$ м²; $m = 6$ кг;
 $\Delta l = 0,7$ мм $= 7 \cdot 10^{-4}$ м.

Топиш керак: $E = ?$

Ечилиши. Гук қонунига биноан механик кучланиш σ нисбий узайиш ϵ га пропорционалдир, яъни $\sigma = \epsilon E$, бунда E —Юнг модули бўлиб, $\sigma = \frac{F}{S} = \frac{mg}{S}$ ва $\epsilon = \frac{\Delta l}{l}$ бўлганлиги учун $\frac{mg}{S} =$

$= E \frac{\Delta l}{l}$. Бундан Юнг модули E қуйидагига тенг бўлади:

$$E = \frac{mgl}{S\Delta l} = \frac{6 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 5 \text{ м}}{2,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \cdot 7 \cdot 10^{-4} \text{ м}} = \frac{6 \cdot 49}{14,2 \cdot 10^{-10}} \frac{\text{кг} \cdot \text{м/с}^2}{\text{м}^2} =$$

$$= 20 \cdot 10^{10} \frac{H}{M^2} = 200 \cdot 10^9 \text{ Па} = 200 \text{ ГПа}.$$

Жавоб: $E = 200$ ГПа.

Мустақил ечиш учун масалалар

9.1. Диаметри $d = 2$ мм бўлган симга $m = 5$ кг юк осилган бўлиб, юқорига $a = 4,9$ м/с² тезланиш билан кўтарилаётган бўлса, симга таъсир қилувчи кучланиш σ ни топинг.

$$\text{Жавоб: } \sigma = \frac{4m(g+a)}{\pi d^2} = 23,4 \cdot 10^6 \text{ Па} = 23,4 \text{ МПа.}$$

9.2. Эластик пружина $F = 30$ Н оғирликдаги юк таъсирида $\Delta l = 6$ см га узайган бўлса, пружинанинг бикрлик коэффициентини k ни топинг.

$$\text{Жавоб: } \sigma = \frac{P}{\Delta l} = 500 \text{ Н/м.}$$

9.3. Узунлиги $l = 10$ м, кўндаланг кесимининг юзи $S = 0,75$ мм² бўлган симга $F = 150$ куч таъсир қилганда сим $\Delta l = 1$ см га чўзилган бўлса, симнинг Юнг модули E ни топинг.

$$\text{Жавоб: } E = \frac{F}{S} \cdot \frac{l}{\Delta l} = 200 \cdot 10^9 \text{ Па} = 200 \text{ ГПа.}$$

9.4. Узунлиги $l = 6$ м, кўндаланг кесимининг юзи $S = 0,6$ см² бўлган пўлат стерженга $m = 200$ кг массали юк осилган бўлса, у қаңча Δl га чўзилади? Пўлат учун Юнг модули $E = 200$ ГПа га тенг.

$$\text{Жавоб: } \Delta l = l \frac{mg}{E \cdot S} = 0,98 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,98 \text{ мм.}$$

9.5. Массаси $m = 2000$ кг бўлган автомобилни $a = 0,6$ м/с² тезланиш билан шағакка олиб кетилаётганда троснинг чўзилиши Δl ни топинг. Троснинг бикрлик коэффициентини $k = 100$ кН/м га тенг.

$$\text{Жавоб: } \Delta l = \frac{ma}{k} = 12 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 12 \text{ мм.}$$

9.6. Узунлиги $l = 3$ м, кўндаланг кесимининг юзи $S = 2$ мм² бўлган мис симни $\Delta l = 1,5$ мм га чўзиш учун унга қандай F куч таъсир қилиши керак? Мис учун Юнг модули $E = 120$ ГПа га тенг.

$$\text{Жавоб: } F = E \cdot S \frac{\Delta l}{l} = 120 \text{ Н.}$$

9.7. Темир симнинг узилиб кетиши учун зарур бўлган кучланиш $\sigma = 320$ МПа га тенг бўлса, вертикал ҳолатда осилган сим ўз оғирлиги таъсирида узилиб кетиши учун унинг узунлиги l энг камида қанча бўлиши керак? Темирнинг зичлиги $\rho = 7800$ кг/м³ га тенг.

$$\text{Жавоб: } l = \frac{\sigma}{\rho g} = 4,18 \cdot 10^3 \text{ м} = 4,18 \text{ км.}$$

9.8. Бикрлик коэффициентлари мос равишда $k_1 = 4$ кН/м ва $k_2 = 6$ кН/м бўлган, ўзаро кетма-кет ва ўзаро параллел уланган иккита пружиналар системасининг коэффициентлари $k_{к-к}$ ва $k_{пар}$ ни топинг.

$$\text{Жавоб: } k_{к-к} = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2} = 2,4 \cdot 10^3 \text{ Н/м} = 2,4 \text{ кН/м};$$

$$k_{пар} = k_1 + k_2 = 10 \text{ кН/м}.$$

9.9. Резина шнурга осиб қўйилган $P = 4,9$ Н оғирликдаги юк юқорига $a = 2$ м/с² тезланиш билан кўтарилаётган бўлса, резина шнурнинг узайиши Δl ни топинг. Резина шнурнинг қаттиқлик коэффициенти $k = 980$ Н/м га тенг.

$$\text{Жавоб: } \Delta l = \frac{P(g+a)}{kg} = 6,02 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 6,02 \text{ мм}.$$

9.10. Узунлиги $l = 30$ см бўлган резина шнурга уланган $m = 50$ г массали шарча горизонтал текисликда $v = 51$ /с частота билан текис айланмоқда. Агар шнурнинг бикрлик коэффициенти $k = 980$ Н/м га тенг бўлса, бу айланишда шнур қанча Δl га чўзилади?

$$\text{Жавоб: } \Delta l = \frac{4\pi^2 v^2 ml}{k} = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 1,5 \text{ см}.$$

10-§. ИШҚАЛАНИШ КУЧЛАРИ.

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Ишқаланиш коэффициенти $k = 0,05$ бўлган рельсда турган $m = 50$ т массали вагон текис тезланувчан ҳаракатланиб, $s = 25$ м йўлни $t = 50$ с да ўтиши учун унга қандай F куч таъсир қилиши керак?

Берилган: $m = 50$ т = $5 \cdot 10^4$ кг; $v_0 = 0$; $s = 25$ м; $t = 50$ с; $k = 0,05$.

Топиш керак: $F = ?$

Ечилиши. Вагонга қўйилган F куч ишқаланиш кучи $F_{ишқ} = kP = kmg$ ни енгишга ва вагонга a тезланиш берувчи куч $F_{тезл} = ma$ га сарфланади, яъни:

$$F = F_{ишқ} + F_{тезл} = kmg + ma, \quad (1)$$

бунда k — ишқаланиш коэффициенти. Текис тезланувчан ҳаракатнинг йўл формуласи $s = \frac{at^2}{2}$ дан тезланиш $a = \frac{2s}{t^2}$ бўлиб, уни (1) га қўйилса, изланаётган F кучнинг математик ифодаси қуйидаги кўринишга келади:

$$F = m \left(kg + \frac{2s}{t^2} \right) = 5 \cdot 10^4 \text{ кг} \left(0,05 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 + \frac{2 \cdot 25 \text{ м}}{25 \cdot 10^2 \text{ с}^2} \right) = 25,5 \cdot 10^3 \text{ Н} = 25,5 \text{ кН}.$$

Жавоб: $F = 25,5$ кН.

2- масала. Горизонтал сиртда ётган $m=5$ кг массали жисм $F=19,6$ Н куч таъсирида $t=5$ с дан кейин қандай v_t тезликка эришади? Жисм билан сирт орасидаги ишқаланиш коэффициентини $k=0,2$ га тенг.

Берилган: $m = 5$ кг; $F = 19,6$ Н; $v_0 = 0$; $k = 0,2$.

Топиш керак: $v_t = ?$

Ечилиши. Жисмга қўйилган F куч ишқаланиш кучи $F_{\text{ишқ}} = kP = kmg$ ва ҳаракатга келтирувчи куч $F_{\text{тезл}} = ma$ ларнинг йиғиндисига тенгдир:

$$F = F_{\text{ишқ}} + F_{\text{тезл}} = kmg + ma. \quad (1)$$

Тезланиш формуласи $a = \frac{v_t - v_0}{t}$ да $v_0 = 0$ бўлганлиги учун $a = v_t/t$ бўлиб, уни (1) га қўйилса,

$$F = kmg + \frac{mv_t}{t}. \quad (2)$$

Ва ниҳоят, бундан изланаётган v_t тезлик қуйидагига тенг бўлади:

$$\begin{aligned} v_t &= \frac{(F - kmg)t}{m} = \frac{(19,6 \text{ Н} - 0,2 \cdot 5 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2)}{5 \text{ кг}} = \\ &= (19,6 \text{ Н} - 9,8 \text{ Н}) \frac{\text{с}}{\text{кг}} = 9,8 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} \cdot \frac{\text{с}}{\text{кг}} = 9,8 \text{ м/с}. \end{aligned}$$

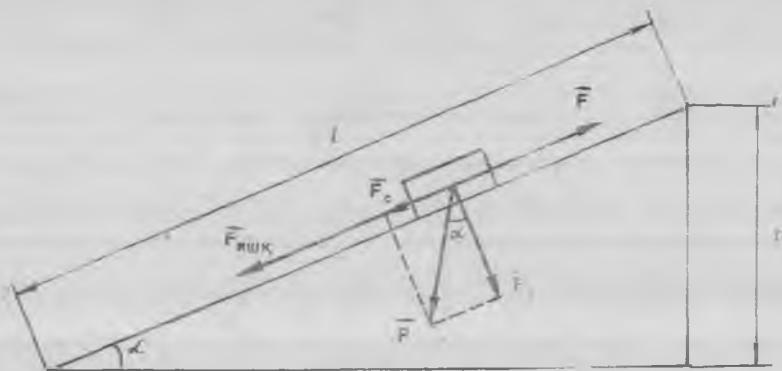
Жавоб: $v_t = 9,8$ м/с.

3- масала. Узунлиги $l = 50$ м, баландлиги $h = 10$ м бўлган тепаликдан арқонга боғланган $m = 60$ кг массали чана туширилмоқда. Агар тепаликнинг этагида чана $v_t = 5$ м/с тезликка эришса ва унинг ишқаланиш коэффициентини $k = 0,1$ га тенг бўлса, арқоннинг таранглик кучи T топилсин.

Берилган: $l = 50$ м; $h = 10$ м; $m = 60$ кг; $v_0 = 0$; $v_t = 5$ м/с; $k = 0,1$; $g = 9,8$ м/с².

Топиш керак: $T = ?$

Ечилиши. Чанага таъсир қилувчи кучлар 2.3-расмда тасвирланган бўлиб, унда $P = mg$ —оғирлик кучи, $F_c = P \sin \alpha$ —



2.3- расм

чанани пастга судровчи куч, $F_{\text{ишқ}} \approx kP = kmg$ —ишқаланиш кучи ва T —таранглик кучи. Чананинг тепалик бўйлаб ҳаракати учун Ньютоннинг иккинчи қонунини қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$ma = F_c - F_{\text{ишқ}} - T' \text{ ёки } ma = P \sin \alpha - kP - T,$$

бунда $P = mg$; $F_c = mg \cdot \sin \alpha = mg \frac{h}{l}$ ва кинематик муносабат-

дан тезланиш $a = \frac{v_l^2}{2l}$ га тенг бўлади. Демак,

$$T = mg \left(\frac{h}{l} - k - \frac{v_l^2}{2lg} \right) = 60 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \left(\frac{10 \text{ м}}{50 \text{ м}} - 0,1 - \frac{25 \text{ м}^2/\text{с}^2}{2 \cdot 50 \text{ м} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2} \right) = 588 \text{ Н} (0,2 - 0,1 - 0,025) = 588 \text{ Н} \cdot 0,075 = 44,1 \text{ Н}.$$

Жавоб: $T = 44,1 \text{ Н}$.

Мустақил ечиш учун масалалар

10.1. От массаси $m = 1250 \text{ кг}$ бўлган чанани горизонтал муз устида ўзгармас тезлик билан судраб бормоқда. Агар ишқаланиш коэффициентини $k = 0,02$ га тенг бўлса, от чанани қандай F куч билан тортади?

Жавоб: $F = kmg = 245 \text{ Н}$.

10.2. Конькичи горизонтал силлиқ муз устида ўз инерцияси билан $s = 80 \text{ м}$ масофага сирпаниб борган. Конькичининг массаси $m = 60 \text{ кг}$, конькичининг музга ишқаланиш коэффициентини $k = 0,015$ га тенг бўлса, ишқаланиш кучи $F_{\text{ишқ}}$ ва конькичининг бошланғич тезлиги v_0 ни топинг.

Жавоб: $F_{\text{ишқ}} = kmg = 88,2 \text{ Н}$; $v_0 = \sqrt{2kgs} = 4,85 \text{ м/с}$.

10.3. Юкни қўзғалмас блок орқали текис кўтариш учун $F_1 = 280 \text{ Н}$ куч, текис тушириш учун эса $F_2 = 240 \text{ Н}$ куч керак бўлса, юкнинг оғирлиги P ва блокдаги ишқаланиш кучи $F_{\text{ишқ}}$ ни топинг.

Жавоб: $P = \frac{F_1 + F_2}{2} = 260 \text{ Н}$; $F_{\text{ишқ}} = \frac{F_1 - F_2}{2} = 20 \text{ Н}$.

10.4. $v_0 = 36 \text{ км/соат}$ тезлик билан кетаётган автомобилнинг мотори ўчирилганда у $s = 150 \text{ м}$ йўлни ўтиб тўхтаган бўлса, автомобилнинг тўхтагунча кетган вақти t ва ишқаланиш коэффициентини k ни топинг.

Жавоб: $t = \frac{2s}{v_0} = 30 \text{ с}$; $k = \frac{v_0^2}{2gs} = 0,034$.

10.5. Массаси $m = 500 \text{ г}$ бўлган жисм ҳавода $a = 9,2 \text{ м/с}^2$

тезланиш билан вертикал тушаётган бўлса, жисмга таъсир қилувчи қаршилик кучи $F_{\text{қарш}}$ ни топинг.

Жавоб: $F_{\text{қарш}} = m(g - a) = 0,3 \text{ Н}$.

10.6. $m = 1,5 \text{ кг}$ массали тош $h = 40 \text{ м}$ баландликдан ташланганда Ерга $v = 25 \text{ м/с}$ тезлик билан тушган бўлса, тошнинг ҳаракатига ҳавонинг кўрсатган қаршилик кучи $F_{\text{қарш}}$ ни топинг.

Жавоб: $F_{\text{қарш}} = m\left(g - \frac{v_t^2}{2h}\right) = 3 \text{ Н}$.

10.7. Горизонтал текисликда $v = 15 \text{ айл/мин}$ частота билан айланаётган дискнинг айланиш ўқидан $r = 12 \text{ см}$ узоқликда турган жисм дискдан сирпаниб учиб кетмаслиги учун ишқаланиш коэффициентини k қандай бўлиши керак?

Жавоб: $k = \frac{4\pi v^2 r}{g} = 0,03$.

10.8. Паровоз $m = 1000 \text{ т}$ массали поездни горизонтал йўлда $F_T = 150 \text{ кН}$ куч билан тортмоқда. Агар $s = 600 \text{ м}$ масофада поезднинг тезлиги $v_0 = 32,4 \text{ км/соат}$ дан $v_t = 54 \text{ км/соат}$ гача ўзгарган бўлса, ҳаракатга кўрсатилган қаршилик кучи $F_{\text{қарш}}$ ни топинг.

Жавоб: $F_{\text{қарш}} = F_T - m \frac{v_0^2 - v_t^2}{2s} = 30 \cdot 10^3 \text{ Н} = 30 \text{ кН}$.

10.9. Оғиш бурчаги $\alpha = 45^\circ$ бўлган қия текислик бўйлаб юқори томон отилган шайба t_1 вақт ўтиши билан тўхтайди ва пастга сирпаниб тушади. Тушиш вақти t_2 кўтарилиш вақти t_1 дан икки марта катта ($t_2 = 2t_1$) бўлса, ишқаланиш коэффициентини k ни топинг.

Жавоб: $k = \frac{\left(\frac{t_2}{t_1}\right)^2 - 1}{\left(\frac{t_2}{t_1}\right)^2 + 1} \lg \alpha = 0,6$.

10.10. Ишқаланиш коэффициентини $k = 0,2$ бўлган йўлда $m = 400 \text{ г}$ массали жисм $F = 1,4 \text{ Н}$ куч таъсирида текис тезланувчан ҳаракат қилмоқда. Агар йўлнинг маълум бир нуқтасида жисмнинг тезлиги $v_0 = 4 \text{ м/с}$ га тенг бўлса, шу нуқтадан $s = 3 \text{ м}$ нарида унинг тезлиги v_t қандай бўлади?

Жавоб: $v_t = \sqrt{v_0^2 + \frac{2s}{m}(F - kmg)} = 5 \text{ м/с}$.

10.11. Агар автомобилнинг тортиш коэффициентини (тортиш кучи F_t нинг оғирлиги P га нисбати) $\mu = 0,11$ ва ҳаракатга қаршилик коэффициентини $k = 0,06$ га тенг бўлса, автомобиль қандай a максимал тезланиш билан ҳаракатлана олади?

Жавоб: $a = g(\mu - k) = 0,49 \text{ м/с}^2$.

11-§. БУТУН ОЛАМ ТОРТИШИШ ҚОНУНИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Бугун олам тортишиш қонунидан фойдаланиб, Ернинг массаси M ни ва Ер сиртидан $h=3600$ км баландликдаги эркин тушиш тезланиши g_h ни топинг. Ернинг радиуси $R=6400$ км, гравитацион доимий $\gamma=6,67 \cdot 10^{-11}$ м³/кг·с².

Берилган: $R=6400$ км $=6,4 \cdot 10^6$ м; $h=3600$ км $=3,6 \cdot 10^6$ м;
 $\gamma=6,67 \cdot 10^{-11}$ м³/кг·с²; $g_0=9,8$ м/с².

Топиш керак: $M=?$ $g_h=?$

Ечилиши. Ер сиртидаги ва h баландликдаги ҳар қандай жисмнинг Ерга тортилиш кучлари мос равишда қуйидагиларга тенг:

$$F_0 = mg_0 = \gamma \frac{mM}{R^2}; \quad F_h = mg_h = \gamma \frac{mM}{(R+h)^2}$$

Бу тенгламаларнинг биринчисидан Ернинг массасини аниқлаш мумкин:

$$M = \frac{g_0 R^2}{\gamma} = \frac{9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 6,4^2 \cdot 10^{12} \text{ м}^2}{6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/\text{кг} \cdot \text{с}^2} \approx 6 \cdot 10^{24} \text{ кг.}$$

Юқоридаги икки тенгламанинг бирини иккинчисига бўлиб, h баландликдаги эркин тушиш тезланиши g_h ни аниқлаймиз:

$$g_h = g_0 \left(\frac{R}{R+h} \right)^2 = 9,8 \text{ м/с}^2 \left(\frac{6,4 \cdot 10^6 \text{ м}}{6,4 \cdot 10^6 \text{ м} + 3,6 \cdot 10^6 \text{ м}} \right)^2 = \\ = 9,8 \text{ м/с}^2 \frac{6,4^2}{10^6} = 9,8 \text{ м/с}^2 \frac{40,96}{100} = 4,01 \text{ м/с}^2 \approx 4 \text{ м/с}^2.$$

Жавоб: $M = 6 \cdot 10^{24}$ кг; $g_h \approx 4$ м/с².

2-масала. Сунъий йўлдош Ердан $h=1600$ км баландликда экватор текислигида жойлашган айланавий орбита бўйлаб учини учун Ерга нисбатан шарқдан ғарбга томон қандай v_n ва ғарбдан шарққа томон қандай v^1 тезликка эга бўлиши керак? Ернинг радиуси $R=6400$ км, Ер сиртидаги эркин тушиш тезланиши $g_0=9,8$ м/с².

Берилган: $R=6400$ км $=6,4 \cdot 10^6$ м; $h=1600$ км $=1,6 \cdot 10^6$ м;
 $g_0=9,8$ м/с²; $\gamma=6,67 \cdot 10^{-11}$ м³/кг·с²; $T=24$ соат $=24 \cdot 60 \cdot 60$ с.

Топиш керак: $v_n=?$ $v^1=?$

Ечилиши: Сунъий йўлдош Ернинг тортиш кучи $F_T = \gamma \frac{mM}{(R+h)^2}$ таъсирида айлана бўйлаб текис ҳаракатланади.

Мазкур ҳолда бу марказга интилма $F_{m.и.} = \frac{mv^2}{(R+h)}$ кучдан иборат, яъни:

$$\gamma \frac{mM}{(R+h)^2} = \frac{mv^2}{(R+h)} \quad (1)$$

бўлади, бунда m — сунъий йўлдош массаси, h — унинг Ер сиртидан ҳисобланган баландлиги, M — Ернинг массаси, v — сунъий йўлдошнинг тезлиги бўлиб, у (1) дан қуйидагига тенг:

$$v = \sqrt{\gamma \frac{M}{R+h}}. \quad (2)$$

Агар шунга ўхшаш масалаларни ечишда Ер массаси иштирок эгмаса, ундан M Ернинг массасини чиқариб ташлаб, ҳисоблашни анча соддалаштириш мумкин, яъни $g_0 = \gamma \frac{M}{R^2}$ дан $\gamma M = g_0 R^2$ ни (2) га қўйилса, сунъий йўлдошнинг тезлиги қуйидагига тенг бўлади:

$$v = \sqrt{\frac{g_0 R^2}{R+h}}. \quad (3)$$

У вақтда сунъий йўлдошнинг Ерга нисбатан тезлиги:

$$v_n = v \pm v_0 \quad (4)$$

бўлади, бунда v_0 — экватордаги нуқталарнинг чизиқли тезлиги бўлиб, у Ернинг радиуси R ва унинг суткалик айланиш даври T ни билган ҳолда қуйидаги ифодадан топилиши мумкин:

$$v_0 = \frac{2\pi R}{T}. \quad (5)$$

У вақтда ракетанинг нисбий тезлиги v_n қуйидагига тенг бўлади;

$$\begin{aligned} v_n &= \sqrt{\frac{g_0 R^2}{R+h}} \pm \frac{2\pi R}{T} = \sqrt{\frac{9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 6,4 \cdot 10^6 \text{ м}^2}{(6,4+1,6) \cdot 10^6 \text{ м}}} \pm \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6,4 \cdot 10^6 \text{ м}}{24 \cdot 60 \text{ с}} = \\ &= 7 \cdot 10^3 \text{ м/с} \pm 1 \cdot 10^3 \text{ м/с}; \end{aligned}$$

Шундай қилиб,

$$v_n = 8 \cdot 10^3 \text{ м/с} = 8 \text{ км/с}; \quad v_n = 6 \cdot 10^3 \text{ м/с} = 6 \text{ км/с}.$$

Жавоб: Сунъий йўлдошнинг шарқдан ғарбга қараб учиш тезлиги $v_n = 8$ км/с га, ғарбдан шарққа томон учуриш тезлиги $v_n = 6$ км/с га тенг экан. Х у л о с а. Демак, Ернинг сунъий йўлдошини ғарбдан шарққа қараб учуриш, аксинча, шарқдан ғарбга томон учуришга нисбатан осон бўлар экан.

Мустақил ечиш учун масалалар

11.1. Массалари мос равишда $M = 2 \cdot 10^{30}$ кг ва $m = 6 \cdot 10^{24}$ кг бўлган Қуёш билан Ер марказлари орасидаги масофа $R = 1,5 \cdot 10^{11}$ м бўлса, улар орасидаги тортишиш кучи F ни топинг. Гравитацион доимий $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/\text{кг} \cdot \text{с}^2 (\text{Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2)$.

$$\text{Жавоб: } F = \gamma \frac{mM}{R^2} = 3,6 \cdot 10^{22} \text{ Н}.$$

11.2. Массалари мос равишда $M=6 \cdot 10^{24}$ кг ва $m=7,3 \cdot 10^{22}$ кг бўлган Ер билан Ой марказлари орасидаги масофа $R=3,8 \cdot 10^8$ м бўлса, улар орасидаги тортишиш кучи F ни топинг. Гравитацион доимий $\gamma=6,67 \cdot 10^{-11}$ м³/кг·с².

Жавоб: $F = \gamma \frac{Mm}{R^2} = 2,0 \cdot 10^{20}$ Н.

11.3. „Венера-6“ сайёралараро автоматик станцияси 1969 йил 10 январда Ер марказидан $R=1,5 \cdot 10^5$ км масофада булган. Бунда станциянинг Ер билан тортишиш кучи F Ер сиртидаги F_0 тортишиш кучидан неча марта кичик бўлган? Ернинг радиуси $R_0=6400$ км.

Жавоб: $\frac{F_0}{F} = \left(\frac{R}{R_0}\right)^2 = 549$ марта.

11.4. Агар космик кеманинг кўтарилишида улчов асбоблари эркин тушиш тезланиши $g_h=4,9$ м/с² га тенг бўлганлигини кўрсатса, кема Ердан қанча h баландликка кўтарилган бўлади? Ернинг сиртидаги эркин тушиш тезланишини $g_0=9,8$ м/с². Ернинг радиусини $R=6400$ км деб олинг.

Жавоб: $h = R \left(\sqrt{\frac{g_0}{g_h}} - 1 \right) = 2624$ км.

11.5. Агар жисм Ер сиртидан $h=1600$ км баландликдан пастга эркин тушса, у дастлабки $t_1=2$ с вақт ичида қанча h_1 масофани босиб ўтади? Ернинг радиусини $R=6400$ км деб олинг.

Жавоб: $h_1 = g_0 \left(\frac{R}{R+h} \right) \frac{t_1^2}{2} = 12,54$ м.

11.6. Ой орбитасининг радиуси $R=3,8 \cdot 10^8$ м. Унинг Ер атрофидаги айланиш даври T ни топинг. Ер шарининг радиусини $R_0=6,4 \cdot 10^6$ м. Ер сиртидаги эркин тушиш тезланишини $g_0=9,8$ м/с² деб олинг.

Жавоб: $T = 2\pi \frac{R}{R_0} \sqrt{\frac{R}{g_0}} = 2,33 \cdot 10^6$ с = 27 сутка.

11.7. Агар Ойнинг радиуси r Ернинг радиуси R дан 3,8 марта, массаси m эса Ернинг массаси M дан 81 марта кичик бўлса, жисмнинг Ойда $F_{\text{Ой}}$ тортилиш кучи Ердаги тортилиш кучи $F_{\text{Ер}}$ дан неча марта кичик бўлади?

Жавоб: $\frac{F_{\text{Ер}}}{F_{\text{Ой}}} = \frac{M}{m} \left(\frac{r}{R} \right)^2 = 5,6$ марта.

11.8. Ернинг орбитал радиуси $R=1,5 \cdot 10^{11}$ м, Қуёшнинг массаси эса $M=2 \cdot 10^{30}$ кг. Ернинг Қуёш атрофидаги ҳаракат

тезлиги v ни топинг. Гравитацион доимий $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11}$ м³/кг · с².

Жавоб: $v = \sqrt{\gamma \frac{M}{R}} = 29,8 \cdot 10^3$ м/с = 30 км/с.

11.9. Ой Ер атрофида $v = 1$ км/с тезлик билан ҳаракат қилади. Ернинг массаси M ни топинг. Ойнинг орбитал радиуси $R = 3,8 \cdot 10^8$ м; гравитацион доимий $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11}$ м³/кг · с².

Жавоб: $M = \frac{R \cdot v^2}{\gamma} = 5,697 \cdot 10^{24}$ кг $\approx 6 \cdot 10^{24}$ кг.

11.10. Зухро (Венера) сайёрасининг зичлиги $\rho = 4900$ кг/м³, радиуси $R = 6200$ км. Унинг сиртидаги эркин тушиш тезланиши g_v ни топинг. Гравитацион доимий $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11}$ м³/кг · с².

Жавоб: $g_v = \gamma \frac{M}{R^2} = \frac{4}{3} \pi \gamma R \rho = 8,47$ м/с² $\approx 8,5$ м/с².

12-§. МЕХАНИК ИШ

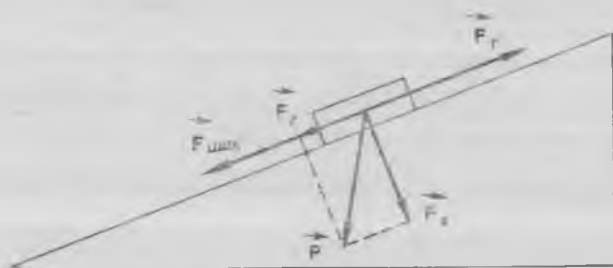
Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Массаси $m = 3 \cdot 10^3$ кг бўлган вагонетка қиялиги горизонт билан $\alpha = 30^\circ$ бурчак ташкил қилувчи рельс бўйлаб тепаликка кўтарилмоқда. Агар вагонетка $a = 0,2$ м/с² тезланиш билан ҳаракатланаётган бўлса, тортиш кучининг $s = 50$ м йўлда бажарган иши A ни топинг. Ишқаланиш коэффициентини $K = 0,1$ га ва $g \approx 10$ м/с² га тенг.

Берилган: $m = 3 \cdot 10^3$ кг; $\alpha = 30^\circ$; $a = 0,2$ м/с²; $s = 50$ м; $K = 0,1$; $g \approx 10$ м/с².

Топиш керак: $A = ?$

Ечилиши. Масаланинг схематик кўринишини чизиб оламиз (2.4-расм) Вагонеткага таъсир қилувчи тортиш кучи F_T ни аниқлаш учун оғирлик кучи P ни пастга судровчи $F_c = P \sin \alpha$ ва нормал босим $F_N = P \cos \alpha$ кучларидан иборат ташкил этув-



2.4-расм

чиларга ажратамиз ҳамда динамиканинг иккинчи қонунига биноан қуйидаги ҳаракат тенгламасини ёзамиз:

$$ma = F_T - P \sin \alpha - F_{\text{ишқ}}, \quad (1)$$

бунда ишқаланиш кучи $F_{\text{ишқ}} = kP = kmg$ ва $P = mg$ эканлигини назарга олган ҳолда (1) ни қуйидаги кўринишда ёзамиз:

$$F_T = m(a + g \sin \alpha + kg \cos \alpha). \quad (2)$$

У ҳолда тортиш кучи F_T нинг бажарган иши A қуйидагига тенг бўлади:

$$\begin{aligned} A &= m(a + g \sin \alpha + kg \cos \alpha) s = 3 \cdot 10^3 \text{ кг} (0,2 \text{ м/с}^2 + \\ &\quad + 10 \text{ м/с}^2 \sin 30^\circ + 0,1 \cdot 10 \text{ м/с}^2 \cos 30^\circ) \cdot 50 \text{ м} = \\ &= 3 \cdot 10^3 \text{ кг} (0,2 \text{ м/с}^2 + 5 \text{ м/с}^2 + 0,866 \text{ м/с}^2) \cdot 50 \text{ м} = \\ &= 3 \cdot 10^3 \cdot 6,066 \cdot 50 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^2} \cong 910 \cdot 10^3 \text{ Ж} = 910 \text{ кЖ}. \end{aligned}$$

Жавоб: $A = 910 \text{ кЖ}$.

2-масала. Агар вагон буфери пружинаси $\Delta F_0 = 3 \cdot 10^4 \text{ Н}$ куч таъсирида $\Delta l_0 = 1 \text{ см}$ га сиқилса, пружинани $\Delta l = 5 \text{ см}$ га сиқиш учун зарур бўлган иш A ни тоининг.

Берилган: $\Delta F_0 = 3 \cdot 10^4 \text{ Н}$; $\Delta l_0 = 1 \text{ см} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ м}$;
 $\Delta l = 5 \text{ см} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$.

Топиш керак: $A = ?$

Ечилиши. Пружинани сиқувчи F куч Гук қонунига биноан сиқилиш катталигига пропорционал бўлиб, у 0 дан $F = k\Delta l$ гача ўзгарганда унинг $F_{\text{урт}} = \frac{k\Delta l}{2}$ ўртача қийматининг бажарган иши ўзгарувчан кучнинг бажарган ишига тенгдир:

$$A = F_{\text{урт}} \cdot \Delta l = \frac{k\Delta l^2}{2}. \quad (1)$$

Бунда k — пружинанинг бикрлик коэффиценти бўлиб, у қуйидагича аниқланади:

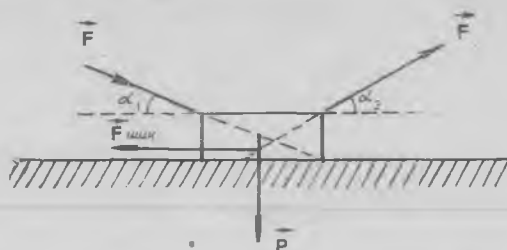
$$k = \frac{\Delta F_0}{\Delta l_0}. \quad (2)$$

Бу ифодани (1) га қўйилса, қуйидаги ишчи формула келиб чиқади:

$$A = \frac{\Delta F_0}{\Delta l_0} \cdot \frac{\Delta l^2}{2} = \frac{3 \cdot 10^4 \text{ Н}}{1 \cdot 10^{-2} \text{ м}} \cdot \frac{25 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2}{2} = 3750 \text{ Н} \cdot \text{м} = 3750 \text{ Ж}.$$

Жавоб: $A = 3750 \text{ Ж}$.

3-масала. Икки ишчи полдаги оғирлиги $P = 900 \text{ Н}$ бўлган утини текис силжитмоқда. Ишчилардан бири қутини орқасидан полга нисбатан пастга йўналган $\alpha_1 = 30^\circ$ бурчак остида $F_1 = 300 \text{ Н}$ куч билан итармоқда, иккинчиси эса $F_2 = 400 \text{ Н}$ куч билан полга нисбатан $\alpha_2 = 45^\circ$ бурчак остида арқон билан



2.5- расм

тортмоқда. Ишчилар қутини $s = 20$ м масофага кўчиришда ба-
жарилган умумий иш A ни, ҳаракатдаги қутига таъсир қилув-
чи ишқаланиш кучи $F_{\text{ишқ}}$ ни, қутини полга сиқувчи нормал
босим кучи F_N ни ва қутининг полга ишқаланиш коэффици-
енти k ни топинг.

Берилган: $P = 900$ Н; $\alpha_1 = 30^\circ$; $F_1 = 300$ Н; $\alpha_2 = 45^\circ$;
 $F_2 = 400$ Н; $s = 20$ м.

Топиш керак: $A = ?$ $F_{\text{ишқ}} = ?$ $F_N = ?$ $k = ?$

Ечилиши. Чизмада (2.5-расм) қутига таъсир қилувчи P
огирлик кучини, $F_{\text{ишқ}}$ ишқаланиш кучини ва F_1 , F_2 кучлар-
ни тасвирлаймиз. Қутини ҳаракатлантурувчи F куч унга таъ-
сир қилувчи \vec{F}_1 ва \vec{F}_2 кучларнинг кўчиш йўналишига бўлган
проекцияларининг йиғиндисига тенгдир, яъни:

$$F = F_1 \cos \alpha_1 + F_2 \cos \alpha_2. \quad (1)$$

Бинобарин, бу куч бажарган иш:

$$A = Fs = (F_1 \cos \alpha_1 + F_2 \cos \alpha_2) \cdot s = \\ = (300 \cdot \text{Н} \cdot \cos 30^\circ + 400 \cdot \text{Н} \cdot \cos 45^\circ) \cdot 20 \text{ м} = 1086 \text{ Ж.}$$

Жисм текис ҳаракатланганда уни ҳаракатга келтирувчи F куч
миқдор жиҳатдан $F_{\text{ишқ}}$ ишқаланиш кучига тенг булади, яъни:

$$F_{\text{ишқ}} = F = F_1 \cos \alpha_1 + F_2 \cos \alpha_2 = \\ = 300 \text{ Н} \cos 30^\circ + 400 \text{ Н} \cos 45^\circ \approx 543 \text{ Н.}$$

Қутига таъсир қилувчи F_N нормал босим кучини топиш учун
қутига таъсир қилаётган барча \vec{P} , \vec{F}_1 , \vec{F}_2 кучларнинг вертикал
йўналишга бўлган проекциясини оламиз:

$$F_N = P + F_1 \sin \alpha_1 - F_2 \sin \alpha_2 = 900 \text{ Н} + 300 \text{ Н} \sin 30^\circ - \\ - 400 \text{ Н} \sin 45^\circ \approx 767 \text{ Н.}$$

Ишқаланиш коэффициенти k ишқаланиш кучи $F_{\text{ишқ}}$ нинг F_N
нормал босим кучига бўлган нисбатига тенг бўлганлиги учун:

$$k = \frac{F_{\text{ишқ}}}{F_N} = \frac{543 \text{ Н}}{767 \text{ Н}} = 0,7079 \approx 0,71.$$

Жавоб: $A = 1086$ Ж; $F_{\text{ишқ}} = 543$ Н; $F_N = 767$ Н; $k = 0,71$.

Мустақил ечиш учун масалалар

12.1. Буғ $P = 50$ кН оғирликдаги болғани $h = 60$ см баландликка бир текисда кўтарганда, қанча A иш бажарилади?

Жавоб: $A = P \cdot h = 30 \cdot 10^3$ Ж = 30 кЖ.

12.2. От массаси $m = 2000$ кг бўлган вагонеткани рельс устида $s = 1,3$ км масофага бир текисда тортиб боришда қанча A иш бажаради? Ишқаланиш коэффициентини $k = 0,08$ га тенг деб олинг.

Жавоб: $A = kmgs = 2,08 \cdot 10^6$ Ж ≈ 2 МЖ.

12.3. Узунлиги $l = 3$ м ва массаси $m = 80$ кг бўлган бир жинсли стержень ерда ётибди. Уни вертикал қилиб қўйиш учун қанча A иш бажариш керак?

Жавоб: $A = mgh = mg \frac{l}{2} = 1176$ Ж.

12.4. Бола чанани $F = 200$ Н куч билан горизонтга $\alpha = 30^\circ$ бурчак остида тортиб бормоқда. У чанани $s = 50$ м масофага бир текис силжитганда қанча A иш бажаради?

Жавоб: $A = Fs \cos \alpha = 8,66 \cdot 10^3$ Ж = 8,66 кЖ.

12.5. Ўзаро перпендикуляр бўлган $F_1 = 30$ Н ва $F_2 = 40$ Н кучлар таъсирида жисм тенг таъсир этувчи куч йўналишида $s = 40$ м масофага силжиган. Ҳар бир кучнинг бажарган иши A_1 ва A_2 ни ҳамда уларнинг биргаликда бажарган иши A ни топинг.

Жавоб: $A_1 = \frac{F_1 \cdot s}{\sqrt{F_1^2 + F_2^2}} = 720$ Ж; $A_2 = \frac{F_2 \cdot s}{\sqrt{F_1^2 + F_2^2}} = 1280$ Ж;

$A = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} \cdot s = 2000$ Ж.

12.6. Кран оғирлиги $P = 20$ кН бўлган юкни $v = 0,5$ м/с ўзгармас тезлик билан $t = 5$ с давомида кўтаришида бажарилган A ишни топинг.

Жавоб: $A = Pvt = 50 \cdot 10^3$ Ж = 50 кЖ.

12.7. Оғирлиги $P = 500$ Н бўлган юкни бошланғич тезликсиз $a = 2$ м/с² тезланиш билан кўтаришда йўлнинг $h = 20$ м қисмида бажарилган A ишни топинг.

Жавоб: $A = P \left(1 + \frac{a}{g}\right) h = 12 \cdot 10^3$ Ж = 12 кЖ.

12.8. Узунлиги $l = 1,4$ м бўлган қия текисликдан оғирлиги $P = 100$ Н бўлган жисм текис сирпаниб тушмоқда. Горизонт билан қия текислик орасидаги бурчак $\alpha = 30^\circ$ бўлса, оғирлик кучининг бажарган иши A ни топинг.

Жавоб: $A = Pl \sin \alpha = 70$ Ж.

12.9. Бикрилик коэффициенти $k = 40$ кН/м бўлган пружинани $\Delta l = 0,5$ см га чўзиш учун қанча A иш бажариш керак?

$$\text{Жавоб: } A = \frac{k \cdot \Delta l^2}{2} = 0,5 \text{ Ж.}$$

12.10. Пружинани $\Delta l_1 = 4$ мм га чўзишда $A_1 = 0,02$ Ж иш бажарилган бўлса, уни $\Delta l_2 = 4$ см га чўзиш учун қанча A_2 иш бажариш керак?

$$\text{Жавоб: } A_2 = A_1 \left(\frac{\Delta l_2}{\Delta l_1} \right)^2 = 2 \text{ Ж.}$$

13-§. ҚУВВАТ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Самолёт ердан кўтарилиши учун $v = 25$ м/с тезликка эга бўлиши керак. Унинг югуриш йўлининг узунлиги $s = 100$ м. Массаси $m = 1000$ кг, умумий қаршилик коэффициенти эса $k = 0,02$ га тенг. Самолёт моторининг ердан кўтарилиш пайтидаги қуввати N ни топинг. Самолётнинг югуриш пайтидаги ҳаракатини текис тезланувчан деб ҳисобланг.

$$\text{Берилган: } m = 10^3 \text{ кг; } v_0 = 0, \quad v = 25 \text{ м/с; } k = 0,02; \\ s = 10^2 \text{ м.}$$

Топиш керак: $N = ?$

Ечилиши. Югуриш йўлининг охирида самолёт моторининг қуввати $N = F \cdot v$ га тенг бўлади, бунда F — моторнинг тортиш кучи бўлиб, югуриш вақтида унинг қиймати узгармайди. Динамиканинг иккинчи қонунига асосланиб, самолёт ҳаракатининг тенгламасини ёзамиз:

$$ma = F - kP. \quad (1)$$

Самолётнинг олган тезланиши $a = \frac{v^2}{2s}$ га тенг.

Бинобарин,

$$F = ma + kP = m \frac{v^2}{2s} + kmg. \quad (2)$$

У ҳолда самолётнинг кўтарилиши учун зарур бўлган минимал қувват қуйидагига тенг бўлади:

$$N = Fv = \left(\frac{mv^2}{2s} + kmg \right) v = mv \left(\frac{v^2}{2s} + kg \right) = \\ = 10^3 \text{ кг} \cdot 25 \text{ м/с} \left(\frac{625 \text{ м/с}^2}{2 \cdot 100 \text{ м}} + 0,02 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \right) = \\ = 8,31 \cdot 10^4 \text{ Вт} = 83,1 \text{ кВт.}$$

Жавоб: $N = 83,1$ кВт.

2-масала. Электропоезд $v = 72$ км/соат тезлик билан ҳаракатланганда унинг моторлари $N = 1,2$ МВт қувватга эри-

шади. Унинг моторлари ва узатувчи механизмларининг фойдали иш коэффициенти $\eta = 80\%$ бўлса, моторнинг тортиш кучи F_T ни топинг.

Берилган: $N = 1,2 \text{ МВт} = 1,2 \cdot 10^6 \text{ Вт};$
 $v = 72 \text{ км/соат} = 20 \text{ м/с}; \eta = 80\% = 0,8.$

Топиш керак: $F_T = ?$

Ечилиши: Фойдали ва умумий қувватларни мос равишда N_ϕ ва N билан белгилайлик. Фойдали иш коэффициенти $\eta = \frac{N_\phi}{N}$ бўлиб, бунда $N_\phi = F_T \cdot v$ бўлганлиги учун $\eta = \frac{F_T \cdot v}{N}$ бўлади. Бундан моторнинг тортиш кучи қуйидагига тенг бўлади:

$$F_N = \frac{\eta N}{v} = \frac{0,8 \cdot 1,2 \cdot 10^6 \text{ Вт}}{20 \text{ м/с}} = 48 \cdot 10^3 \text{ Н} = 48 \text{ кН}.$$

Жавоб: $F_T = 48 \text{ кН}.$

Мустақил ечиш учун масалалар

13.1. Фойдали қуввати $N_\phi = 2,1 \text{ МВт}$ бўлган ФД („Феликс Держинский“) серияли паровоз $v = 54 \text{ км/соат}$ тезлик билан юрганда қандай F_T тортиш кучига эга бўлади?

Жавоб: $F_T = N_\phi/v = 1,4 \cdot 10^5 \text{ Н} = 140 \text{ кН}.$

13.2. Тортиш қуввати $N = 30 \text{ кВт}$ бўлган трактор $m = 5 \times 10^3 \text{ кг}$ массали прицепни горизонтга қиялик бурчаги $\alpha = 12^\circ$ бўлган тепаликка қандай v тезлик билан торта олади? Ишқаланиш коэффициенти $k = 0,4$.

Жавоб: $v = \frac{N}{mg(\sin \alpha + k \cos \alpha)} = 1 \text{ м/с}.$

13.3. Трактор ер ҳайдашда $N_\phi = 40 \text{ кВт}$ фойдали қуввати билан $F_k = 10 \text{ кН}$ қаршилик кучини енгган бўлса, у қандай v тезлик билан ҳаракатланган?

Жавоб: $v = N_\phi/F_k = 4 \text{ м/с}.$

13.4 Фойдали иш коэффициенти $\eta = 80\%$ ва моторининг қуввати $N = 1,5 \text{ кВт}$ бўлган кран $v = 0,1 \text{ м/с}$ ўзгармас тезлик билан қанча m массали юкни кўтара олади?

Жавоб: $m = \frac{\eta N}{gv} = 1,2 \cdot 10^3 \text{ кг}.$

13.5. Қуввати $N = 4,5 \text{ кВт}$ бўлган мотор ҳаракатга келтирадиган қурилма $m = 900 \text{ кг}$ массали қумни $h = 5 \text{ м}$ баландликка $t = 20 \text{ с}$ давомида кўтара олади. Шу қурилманинг фойдали иш коэффициенти η ни топинг.

Жавоб: $\eta = \frac{mgh}{N \cdot t} = 0,49 = 49\%.$

13.6. Оғирлиги $P = 15$ кН бўлган автомобиль $v = 27$ км/соат тезлик билан ҳаракатланмоқда. Агар ишқаланиш коэффициентини $k = 0,02$ бўлса, двигатель йўлнинг ҳар $s = 1$ км масофасида қандай N қувватга эришади ва қанча A иш бажаради?

Жавоб: $N = kPv = 2250$ Вт = 2,25 кВт; $A = kPs = 3 \cdot 10^5$ Ж = 300 кЖ.

13.7. Массаси $m = 2 \cdot 10^3$ кг бўлган тинч турган автомобиль ҳаракатланиб, $v_t = 60$ км/соат тезликда $N = 120$ кВт қувватга эришган бўлса, у қандай a тезланиш билан ҳаракатланган?

Жавоб: $a = \frac{N}{m \cdot v_t} = 3,6$ м/с².

13.8. Фойдали қуввати $N_{\phi} = 7,5$ кВт бўлган сув насоси ёрдамида чуқурлиги $h = 150$ м бўлган шахтадан $t = 1$ соатда чиқарилган сувнинг ҳажми V ни топинг. Сувнинг зичлиги $\rho = 1 \cdot 10^3$ кг/м³ га тенг.

Жавоб: $V = \frac{N_{\phi} \cdot t}{\rho g h} = 18$ м³.

13.9. „Победа“ паровози $N = 2$ МВт гача қувватга эга бўла олади. Агар умумий қаршилиқ коэффициентини $k = 0,005$ га тенг бўлса, бу паровоз массаси $m = 2800$ т бўлган юкни горизонтал йўлда қандай v ўзгармас тезлик билан т.рта олади?

Жавоб: $v = \frac{N}{kmg} = 14,6$ м/с.

13.10. Агар ТУ-114 самолёти ердан $v = 360$ км/соат тезлик билан кўтарилган бўлса, унинг двигателлари қандай $N_{\text{ўрт}}$ ўртача қувватга эришган? Самолётнинг массаси $m = 170$ т, ҳаво билан ўртача ишқаланиш коэффициентини $k = 0,05$, югуриш йўлининг узунлиги $s = 3$ км.

Жавоб: $N_{\text{ўрт}} = mg \left(\frac{v^2}{2s} - kg \right) = 30 \cdot 10^6$ Вт = 30 МВт.

13.11. „Волга“ автомобилнинг йўловчилар билан биргаликдаги оғирлиги $P = 17500$ Н ва двигателининг қуввати $N = 1,5$ кВт. Агар филдиракларнинг ер сиртига ишқаланиш коэффициентини $k = 0,25$ га тенг бўлса, автомобиль киялиги $\alpha = 30^\circ$ бўлган йўлдан кўтарилишда қандай v максимал тезликка эришади?

Жавоб: $v = \frac{N}{P(\sin \alpha + k \cos \alpha)} = 4,1$ м/с.

13.12. Оғирлиги $P = 15000$ Н бўлган автомобиль ҳар $s = 1$ км даги баландлиги $h = 10$ м бўлган тепаликка $v = 36$ км/соат тезлик билан кўтарилганда, унинг қуввати $N = 30$ кВт га етган. Филдиракларнинг ерга ишқаланиш коэффициентини k ни топинг.

Жавоб: $k = \frac{N}{Pv} - \frac{h}{s} = 0,19$.

14-§ КИНЕТИК ЭНЕРГИЯ

Масалалар ечиш намуналари

1- масала. $m = 2$ кг массали эркин тушаётган жисм $t = 5$ с ўтгандан кейин қандай $W_{кин}$ кинетик энергияга эга бўлади?

Берилган: $m = 2$ кг; $t = 5$ с; $g = 9,8$ м/с².

Топиш керак: $W_{кин} = ?$

Ечилиши. Жисмнинг кинетик энергияси $W_{кин} = \frac{mv^2}{2}$, бунда v — жисмнинг t вақтдан кейин олган тезлиги бўлиб, эркин тушиш қонунига кўра $v = gt$ бўлганлиги учун:

$$W_{кин} = \frac{mg^2t^2}{2} = \frac{2 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 25 \text{ с}^2}{2} = 2401 \text{ Ж} \approx 2,4 \text{ кЖ}.$$

Жавоб: $W_{кин} = 2,4$ кЖ

2- масала. Тезликлари ва массалари мос равишда $v_1 = 600$ м/с $v_2 = 18$ км/соат ва $m_1 = 9$ г, $m_2 = 60$ кг бўлган учаётган ўқ билан чопаётган одамнинг кинетик энергиялари $W_{кин}$ ни топинг ва таққосланг

Берилган: $v_1 = 600$ м/с; $v_2 = 18$ км/соат = 5 м/с; $m_1 = 9$ г = $9 \cdot 10^{-3}$ кг; $m_2 = 60$ кг.

Топиш керак: $W_{кин 1} = ?$ $W_{кин 2} = ?$

Ечилиши. $W_{кин} = \frac{mv^2}{2}$ формула асосида ўқ ва одамнинг кинетик энергияларини ҳисоблаб чиқамиз:

$$W_{кин 1} = \frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{9 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot 36 \cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{с}^2}{2} = 1620 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^2} = 1,62 \text{ кЖ}.$$

$$W_{кин 2} = \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{60 \text{ кг} \cdot 25 \cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{с}^2}{2} = 750 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^2} = 0,75 \text{ кЖ}.$$

Бу ҳолда учаётган ўқнинг кинетик энергияси одамнинг кинетик энергиясидан катта, яъни $W_{кин 1} > W_{кин 2}$.

Жавоб: $W_{кин 1} = 1,62$ кЖ; $W_{кин 2} = 0,75$ кЖ; $W_{кин 1} > W_{кин 2}$.

3- масала. Бомбардимончи самолётнинг ўқчиси рўпарадан учиб келаётган қирувчи самолётга қарата тўпдан ўқ узган. Агар ўқнинг массаси $m_1 = 1$ кг, тезлиги $v_1 = 800$ м/с бўлса, унинг Ерга ва қирувчи самолётга нисбатан кинетик энергиялари $W_{кин}$, $W'_{кин}$ ни топинг. Бомбардимончи ва қирувчи самолётларнинг тезликлари мос равишда $v_2 = 720$ км/соат ва $v_3 = 1080$ км/соат.

Берилган: $m = 1$ кг; $v_1 = 800$ м/с; $v_2 = 720$ км/соат = 200 м/с; $v_3 = 1080$ км/соат = 300 м/с.

Топиш керак: $W_{кин} = ?$ $W'_{кин} = ?$

Ечилиши. Галилей алмаштиришларига биноан ўқнинг тинч турган жисм (Ер) га нисбатан тезлиги u ўқ ва бомбардимон-

чи самолёт тезликларининг йиғиндисига тенг, яъни $u = v_1 + v_2$. У вақтда ўқнинг Ерга нисбатан кинетик энергияси $W_{\text{кин}}$ қуйидагига тенг бўлади:

$$W_{\text{кин}} = \frac{mu^2}{2} = \frac{m(v_1 + v_2)^2}{2} = \frac{1 \text{ кг} (800 \text{ м/с} + 200 \text{ м/с})^2}{2} = 5 \cdot 10^5 \text{ Ж} = 500 \text{ кЖ}.$$

Ўқнинг ҳаракатланувчи жисм (қирувчи самолёт) га нисбатан тезлиги ўқнинг v_1 , бомбардимончи самолётнинг v_2 ва қирувчи самолётнинг v_3 тезликларининг йиғиндисига тенг, яъни $u' = v_1 + v_2 + v_3$. У ҳолда ўқнинг қирувчи самолётга нисбатан кинетик энергияси $W'_{\text{кин}}$ қуйидагига тенг бўлади:

$$W'_{\text{кин}} = \frac{m \cdot u'^2}{2} = \frac{m(v_1 + v_2 + v_3)^2}{2} = \frac{1 \text{ кг} (800 \text{ м/с} + 200 \text{ м/с} + 300 \text{ м/с})^2}{2} = 84,5 \cdot 10^4 \text{ Ж} = 845 \text{ кЖ}.$$

Хулоса: кинетик энергиянинг катталиги жисм тезлигининг қандай саноқ системасида ўлчанишига боғлиқ бўлар экан.

Жавоб: $W_{\text{кин}} = 500 \text{ кЖ}$; $W'_{\text{кин}} = 845 \text{ кЖ}$.

Мустақил ечиш учун масалалар

14.1. $v = 54 \text{ км/соат}$ тезлик билан ҳаракатланаётган $m = 50 \text{ кг}$ массали метеоритнинг кинетик энергияси $W_{\text{кин}}$ ни топинг.

Жавоб: $W_{\text{кин}} = \frac{mv^2}{2} = 375 \text{ Ж}.$

14.2 $v = 18 \text{ км/соат}$ тезлик билан ҳаракатланаётган жисмнинг кинетик энергияси $W_{\text{кин}} = 500 \text{ Ж}$ га тенг бўлса, унинг массаси m ни топинг.

Жавоб: $m = \frac{2W_{\text{кин}}}{v^2} = 40 \text{ кг}.$

14.3. $m = 2,5 \text{ кг}$ массали жисм $F = 6 \text{ Н}$ ўзгармас куч таъсирида текис тезланувчан ҳаракатланаётган бўлса, у $t = 5 \text{ с}$ вақт ўтгандан кейин қандай $W_{\text{кин}}$ кинетик энергияга эга бўлади?

Жавоб: $W_{\text{кин}} = \frac{F^2 t^2}{2m} = 180 \text{ Н}.$

14.4. Массаси $m_1 = 5 \cdot 10^3 \text{ кг}$ бўлган тўпдан отилиб чиққан $m_2 = 100 \text{ кг}$ массали снаряднинг кинетик энергияси $W_{\text{кин}2} = 7,5 \cdot 10^6 \text{ Ж}$ га тенг бўлса, орқага тешиш сабабли тўп қандай $W_{\text{кин}1}$ кинетик энергияга эга бўлади?

Жавоб: $W_{\text{кин}1} = W_{\text{кин}2} \frac{m_2}{m_1} = 1,5 \cdot 10^6 \text{ Ж}.$

14.5. $m = 20$ г массали ўқ $v_1 = 400$ м/с тезлик билан қалинлиги $s = 25$ см бўлган тахтага кириб, ундан $v_2 = 50$ м/с тезлик билан учиб чиқди. Ўқнинг тахта ичида ҳаракатланишидаги қаршилик кучи F_k ни топинг.

$$\text{Жавоб: } F_k = \frac{m(v_1^2 - v_2^2)}{2s} = 6,3 \cdot 10^3 \text{ Ж} = 6,3 \text{ кЖ.}$$

14.6. Горизонтал йўлда кетаётган тепловоз $F_T = 15$ кН доимий тортиш кучига эга. Агар йўлнинг $s = 600$ м ли қисмида унинг тезлиги $v_1 = 32,4$ км/соат дан $v_2 = 54$ км/соат гача ортган бўлса, массаси $m = 1000$ т бўлган поезднинг ҳаракатига таъсир қилувчи қаршилик кучи F_k ни топинг.

$$\text{Жавоб: } F_k = F_T - m \frac{v_2^2 - v_1^2}{2s} = 30 \text{ кН.}$$

14.7. Массаси $m = 100$ г ли шарча $R = 50$ см радиусли айлана бўйлаб $\nu = 120$ айл/мин частота билан текис айланаётир. Унинг кинетик энергияси $W_{кин}$ ни топинг.

$$\text{Жавоб: } W_{кин} = \frac{4\pi^2 R^2 \nu^2 m}{2} = 1,97 \text{ Ж.}$$

14.8. Самолёт $v = 180$ км/соат тезлик билан аэродромга қўнаётиб $s = 150$ м тўхташ йўлини ўтди. Умумий қаршилик коэффициентини k ни топинг.

$$\text{Жавоб: } k = \frac{v^2}{2gs} = 0,31.$$

14.9. $m = 12$ кг массали снаряд $v_1 = 600$ м/с бошланғич тезлик билан тўпдан отилган ва нишонга бориб $v_2 = 500$ м/с тезлик билан теккан. Снаряднинг учиб вақтида қаршиликни енгиш иши A_k ни топинг.

$$\text{Жавоб: } A_k = \frac{m(v_2^2 - v_1^2)}{2} = 660 \cdot 10^3 \text{ Ж} = 660 \text{ кЖ.}$$

14.10. Отилган тўп снаряди $W_{кин 1} = 1,8$ МЖ кинетик энергияга эга бўлган. Тўп снарядининг массаси $m_1 = 10$ кг, стволнинг массаси $m_2 = 600$ кг бўлса, тепки таъсирида тўп ствол қандай $W_{кин 2}$ кинетик энергия олади?

$$\text{Жавоб: } W_{кин 2} = W_{кин 1} \frac{m_1}{m_2} = 30 \cdot 10^3 \text{ Ж} = 30 \text{ кЖ.}$$

15-§. ПОТЕНЦИАЛ ЭНЕРГИЯ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Масалари $m = 50$ кг дан бўлган иккита юкдан бири ердан учинчи қаватга, иккинчиси эса учинчи қаватдан тўртинчи қаватга кўтарилган бўлса, уларни кўтаришда қан-

дай A_1 ва A_2 ишлар бажарилган? Агар ҳар бир қаватнинг баландлиги $h = 4$ м дан бўлса, кўтарилган юкларнинг потенциал энергиялари $W_{\text{пот } 1}$, $W_{\text{пот } 2}$ ни топинг.

Берилган: $m = 500$ кг; $h = 4$ м; $h_1 = 3h$; $h_2 = 4h$; $h_{34} = h$.

Топиш керак: $A_1 = ?$ $A_2 = ?$ $W_{\text{пот } 1} = ?$ $W_{\text{пот } 2} = ?$

Ечилиши. Юкни юқорига кўтаришда унинг P оғирлик кучини енгиш учун қуйидагига тенг бўлган иш бажарилади.

$$A_1 = P \cdot h_1 = 3mgh = 3 \cdot 500 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 4 \text{ м} = \\ = 58,8 \cdot 10^3 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^2} = 58,8 \text{ кЖ};$$

$$A_2 = P \cdot h_{34} = mgh = 500 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 4 \text{ м} = \\ = 19,6 \cdot 10^3 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^2} = 19,6 \text{ кЖ}.$$

Юкларнинг потенциал энергиялари уларнинг Ер сиртига нисбатан олган энергияларидан иборат бўлганлиги учун:

$$W_{\text{пот } 1} = P \cdot h_1 = 3mgh = 3 \cdot 500 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 4 \text{ м} = \\ = 58,8 \cdot 10^3 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^2} = 58,8 \text{ кЖ};$$

$$W_{\text{пот } 2} = P \cdot h_2 = 4mgh = 4 \cdot 500 \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 4 \text{ м} = \\ = 78,4 \cdot 10^3 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^2} = 78,4 \text{ кЖ}.$$

Жавоб: $A_1 = 58,8$ кЖ; $A_2 = 19,6$ кЖ; $W_{\text{пот } 1} = 58,8$ кЖ; $W_{\text{пот } 2} = 78,4$ кЖ.

2-масала. Массаси $m = 60$ кг бўлган цирк артисти таранг тортиб қўйилган тўрга $h = 10$ м баландликдан сакрамоқда. Агар тўр $\Delta l_1 = 1$ м га чўзилган бўлса, артист тўрга қандай $F_{\text{ўрт } 1}$ ўртача куч билан таъсир қилган? Агар қайта сакрашда тўр $\Delta l_2 = 0,1$ м га чўзилган бўлса, у тўрга қандай $F_{\text{ўрт } 2}$ ўртача куч билан таъсир қилган бўлади?

Берилган: $m = 60$ кг; $h = 10$ м; $\Delta l_1 = 1$ м; $\Delta l_2 = 0,1$ м.

Топиш керак: $F_{\text{ўрт } 1} = ?$ $F_{\text{ўрт } 2} = ?$

Ечилиши. Масалада энергиянинг йўқолиши эътиборга олинмаётганлиги учун сакраётган артистнинг потенциал энергияси $W_{\text{пот}} = mgh$ тўрнинг деформацияланиш иши $A = F_{\text{ўрт}} \cdot \Delta l$ га сарф бўлади, яъни:

$$mgh = F_{\text{ўрт}} \cdot \Delta l. \quad (1)$$

Бунда Δl — тўрнинг деформацияланиш катталиги, h — артистнинг умумий тушиш баландлиги бўлиб, биринчи ҳолда $h_1 = h + \Delta l_1$ га ва иккинчи ҳолда эса $h_2 = h + \Delta l_2$ га тенгдир. У вақтда биринчи ва иккинчи ҳоллар учун (1) тенглама қуйидаги кўринишга келади:

$$mg(h + \Delta l_1) = F_{\text{ўрт}} \cdot \Delta l_1;$$

$$mg(h + \Delta l_2) = F_{\text{ўрт}} \cdot \Delta l_2.$$

Бу ифодалардан изланаётган кучлар қуйидагига тенг бўлади:

$$F_{\text{пр}1} = \frac{mg(h + \Delta l_1)}{\Delta l_1} = \frac{60 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 11 \text{ м}}{1 \text{ м}} \approx 6,5 \cdot 10^3 \text{ Н} = 6,5 \text{ кН};$$

$$F_{\text{пр}2} = \frac{mg(h + \Delta l_2)}{\Delta l_2} = \frac{60 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 10,1 \text{ м}}{0,1 \text{ м}} \approx 89,4 \cdot 10^3 \text{ Н} = 89,4 \text{ кН}.$$

Жавоб: $E_{\text{пр}1} = 6,5 \text{ кН}$; $F_{\text{пр}2} = 89,4 \text{ кН}$.

3-масала. Братск ГЭСининг қуввати сув сатҳларининг фарқи $h = 96 \text{ м}$ бўлганда $N = 4,5 \text{ ГВт}$ бўлиб, турбиналарининг ФИК $\eta_1 = 93\%$ га ва генераторининг ФИК $\eta_2 = 98,1\%$ га тенг. $t = 1 \text{ с}$ вақт оралиғида ГЭС дан ўтган сувнинг ҳажми V топилсин. Сувнинг зичлиги $\rho = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ га тенг.

Берилган: $\rho = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; $h = 96 \text{ м}$; $N = 4,5 \text{ ГВт} = 4,5 \times 10^9 \text{ Вт}$; $\eta_1 = 0,93$; $\eta_2 = 0,981$; $t = 1 \text{ с}$.

Топиш керак: $V = ?$

Ечилиши. h баландликдан t вақтда тушаётган m массали сув оқимининг эришган қуввати қуйидагига тенг бўлади:

$$N_1 = \frac{W_{\text{пот}}}{t} = \frac{mgh}{t} = \frac{\rho Vgh}{t}, \quad (1)$$

бунда ρ — сувнинг зичлиги, V эса t вақт ичида турбиналардан ўтган сувнинг ҳажми.

Гидротурбиналарнинг берадиган N_1' қуввати оқим қуввати N_1 нинг 93% ига тенг, яъни $N_1' = \eta_1 N_1$; генераторнинг чиқишидаги N қувват эса турбиналарнинг қуввати N_1' нинг $98,1\%$ ига тенгдир, яъни:

$$N = \eta_2 N_1' = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot N_1, \text{ бундан } N_1 = \frac{N}{\eta_1 \cdot \eta_2}. \quad (2)$$

Тушаётган сув оқими ҳосил қилаётган N_1 қувватнинг иккала (1) ва (2) ифодаларини тенглаштириб, сарфланаётган сувнинг ҳажми V ни осонгина аниқлаш мумкин:

$$\frac{\rho Vgh}{t} = \frac{N}{\eta_1 \cdot \eta_2}. \quad (3)$$

Бундан

$$V = \frac{N \cdot t}{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \rho \cdot gh} = \frac{4,5 \cdot 10^9 \text{ Вт} \cdot 1 \text{ с}}{0,93 \cdot 0,981 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 96 \text{ м}} \approx 5,2 \cdot 10^3 \text{ м}^3.$$

Жавоб: $V = 5,2 \cdot 10^3 \text{ м}^3$.

Мустақил ечиш учун масалалар

15.1. Массаси $m = 200 \text{ кг}$ бўлган жисм $h = 8 \text{ м}$ баландликка кўтарилса, унинг потенциал энергияси $W_{\text{пот}}$ қандай бўлади?

Жавоб: $W_{\text{пот}} = mgh = 15680 \text{ Ж}$.

15.2. Ҳажми $V = 200 \text{ см}^3$ бўлган темир арматура ҳар қавати $h = 4 \text{ м}$ бўлган иморатнинг тўртинчи $n = 4$ қаватига чиқарилганда қандай потенциал энергия $W_{\text{пот}}$ га эга бўлади? Темирнинг зичлиги $\rho = 7,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Жавоб: $W_{\text{пот}} = \rho g V h = 2448 \text{ Ж}$.

15.3. Хонанинг баландлиги $h = 3 \text{ м}$, хонадаги столнинг баландлиги эса $h_1 = 0,75 \text{ м}$ га тенг. Стол устида $m = 5 \text{ кг}$ массали қадоқ тош турган бўлса, унинг столга, полга ва шипга nisbatan потенциал энергияси $W_{\text{пот } i}$ ни топинг.

Жавоб: $W_{\text{пот } 1} = mg(h_1 - h_1) = 0$; $W_{\text{пот } 2} = mgh_1 = 36,75 \text{ Ж}$;
 $W_{\text{пот } 3} = mg(h_1 - h) = -110,25 \text{ Ж}$.

15.4. Массаси $m = 25 \text{ кг}$ бўлган юкнинг потенциал энергияси $W_{\text{пот } 1} = 490 \text{ Ж}$ га ортиши учун, уни қандай h_1 баландликка кўтариш керак? Юкнинг потенциал энергиясини $W_{\text{пот } 2} = -245 \text{ Ж}$ га камайтириш учун уни қанча h_2 пастига тушириш керак?

Жавоб: $h_1 = \frac{W_{\text{пот } 1}}{mg} = 2 \text{ м}$; $h_2 = \frac{W_{\text{пот } 2}}{mg} = -1 \text{ м}$.

15.5. $F = 3,0 \text{ кН}$ куч таъсирида $\Delta l = 4,0 \text{ см}$ га сиқилган пружинанинг потенциал энергияси $W_{\text{пот}}$ ни топинг.

Жавоб: $W_{\text{пот}} = \frac{F\Delta l}{2} = 60 \text{ Ж}$.

15.6. Бикрлик коэффициенти $k = 150 \text{ кН/м}$ бўлган, $\Delta l = 3,0 \text{ см}$ га чўзилган пружинанинг потенциал энергияси $W_{\text{пот}}$ ни топинг.

Жавоб: $W_{\text{пот}} = \frac{k\Delta l^2}{2} = 67,5 \text{ Ж}$.

15.7. Юк қия текислик бўйлаб текис кўтарилди. Қия текисликнинг узунлиги $l = 300 \text{ см}$ бўлиб, кўтарилган юкнинг потенциал энергияси $W_{\text{пот}} = 450 \text{ Ж}$ га ортган бўлса юкни кўтаришда бажарилган иш A ни ва текисликка параллел равишда юкка қўйилган куч F ни аниқланг.

Жавоб: $A = F \cdot l = W_{\text{пот}} = 450 \text{ Ж}$; $F = \frac{W_{\text{пот}}}{l} = 150 \text{ Н}$.

15.8. Оғирлиги $P = 20 \text{ Н}$ бўлган тош $h = 4,0 \text{ м}$ баландликдан юмшоқ тупроққа тушиб, унда $s = 5,0 \text{ см}$ чуқурлик ҳосил қилган бўлса, тупроқнинг ўртача қаршилик кучи F_k ни топинг.

Жавоб: $F_k = \frac{P \cdot h}{s} = 1600 \text{ Н} = 1,6 \text{ кН}$.

15.9. Вертикал йўналишда юқорига отилган $m = 200$ г мас-сали жисм $t = 4$ с дан кейин ерга қайтиб тушган бул а, унинг энг юқори нуқтага чиққандаги потенциал энергияси $W_{\text{пот}}$ ни топинг.

Жавоб: $W_{\text{пот}} = \frac{mg^2t^2}{s} = 38,42 \text{ Ж.}$

15.10. Пружина $F = 5,0$ кН куч таъсирида потенциал энергияси $W_{\text{пот}} = 90$ Ж га тенг булса, унинг деформация катталиги Δl ни топинг.

Жавоб: $\Delta l = \frac{2W_{\text{пот}}}{F} = 3,6 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 3,6 \text{ см.}$

16-§. ЭНЕРГИЯНИНГ САҚЛАНИШ ҚОНУНИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. $v_1 = 360$ км/соат ўзгармас тезлик билан горизонтал йўналишда парвоз қилаётган $m = 500$ кг массали самолёт парвоз йўналишини ўзгартириб, $h = 2$ км баландликка кўтарилган. Бунда унинг тезлиги $v_2 = 216$ км/соатгача камайган бўлса, моторнинг самолётни кўтаришда бажарган иши A ни топинг?

Берилган: $m = 5 \cdot 10^3$ кг; $v_1 = 360 \frac{\text{км}}{\text{соат}} = 100 \text{ м/с}$; $v_2 = 216$

$\frac{\text{км}}{\text{соат}} = 60 \text{ м/с}$; $h = 2 \cdot 10^3 \text{ м.}$

Топиш керак: $A = ?$

Ечилиши. Энергиянинг сақланиш қонунига биноан самолётнинг кейинги ва олдинги ҳолатдаги тўлиқ механик энергияларининг фарқи унинг кўтарилишида мотор бажарган иш A га тенг:

$$\begin{aligned} A &= (W_{\tau 2} - W_{\tau 1}) = (W_{\text{пот} 2} + W_{\text{кин} 2}) - W_{\text{кин} 1} = \\ &= \left(mgh + \frac{mv_2^2}{2} \right) - \frac{mv_1^2}{2} = m \left(gh + \frac{v_2^2}{2} - \frac{v_1^2}{2} \right) = \\ &= 5 \cdot 10^3 \text{ кг} \left(9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 2 \cdot 10^3 \text{ м} + \frac{36 \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{с}^2}{2} - \frac{10^4 \text{ м}^2/\text{с}^2}{2} \right) = \\ &= 82 \cdot 10^6 \text{ Ж} = 82 \text{ МЖ.} \end{aligned}$$

Жавоб: $A = 82 \cdot 10^6 \text{ Ж} = 82 \text{ МЖ.}$

2-масала. Фойдали иш коэффициенти $\eta = 80\%$ бўлган сув двигателига сув $v_1 = 3$ м/с тезлик билан кириб, $h = 1,5$ м пастроқдан $v_2 = 1$ м/с тезлик билан чиқиб кетса, унинг фойдали қуввати $N_{\text{ф}}$ қанча бўлади? Ҳар $t = 1$ с да двигателдан $V = 0,3 \text{ м}^3$ сув ўтиб туради деб ҳисобланг. Сувнинг зичлиги $\rho = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ га тенг.

Берилган: $\eta = 80\% = 0,8$; $v_1 = 3$ м/с; $h = 1,5$ м; $v_2 = 1$ м/с;
 $t = 1$ с; $V = 0,8$ м³; $\rho = 1 \cdot 10^3$ кг/м³.

Топиш керак: $N_{\phi} = ?$

Ечилиши. Фойдали иш коэффициенти двигателнинг бажарган фойдали иши $A_{\phi} = N_{\phi} \cdot t$ ни сувнинг тушишидаги бажарган умумий иши A га бўлган нисбатига тенг:

$$\eta = \frac{A_{\phi}}{A} = \frac{N_{\phi} \cdot t}{A}$$

бундан

$$N_{\phi} = \frac{\eta A}{t} \quad (1)$$

бунда N_{ϕ} — двигателнинг фойдали қуввати, t — унинг ишлаш вақти.

Энергиянинг сақланиш қонунига биноан сувнинг бажарган иши A унинг юқоридаги ва пастдаги тўлиқ механик энергияларнинг фарқига тенг, яъни:

$$A = (W_{\tau 1} - W_{\tau 2}) = (W_{\text{пот}} + W_{\text{кин1}}) - W_{\text{кин2}} = \\ = \left(mgh + \frac{mv_1^2}{2} \right) - \frac{mv_2^2}{2} \quad (2)$$

ёки

$$A = m \left(gh + \frac{v_1^2}{2} - \frac{v_2^2}{2} \right) = \frac{m}{2} (2gh + v_1^2 - v_2^2), \quad (3)$$

бунда $m = \rho V$ бўлганлиги учун;

$$A = \frac{\rho V}{2} (2gh + v_1^2 - v_2^2). \quad (4)$$

Бу ифодани (1) га қўйилса, қуйидаги ишчи формула келиб чиқади:

$$N_{\phi} = \frac{\eta \rho V}{2t} (2gh + v_1^2 - v_2^2) = \frac{0,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 0,8 \text{ м}^3}{2 \cdot 1 \text{ с}} (2 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \times \\ \times 1,5 \text{ м} + 9 \text{ м}^2/\text{с}^2 - 1 \text{ м}^2/\text{с}^2) = 4488 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^3} = 4488 \text{ Вт.}$$

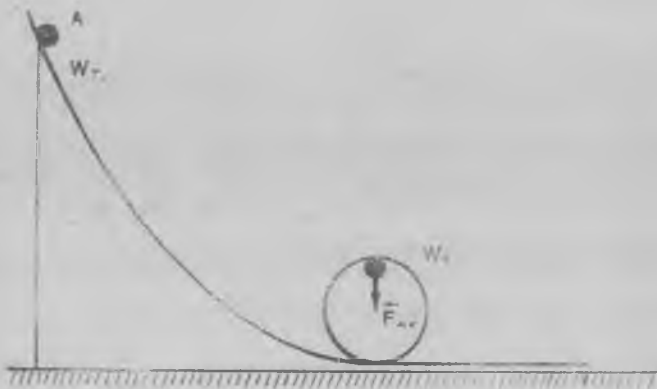
Жавоб: $N_{\phi} = 4488$ Вт.

3-масала. Оғир шар радиуси R бўлган „муаллақ сиртмоқ“ ҳосил қилувчи тарнов бўйлаб ишқаланишсиз сирпанади (2.6-расм). Траекториянинг юқори нуқтасида шар тарновдан ажралиб кетмаслиги учун қандай минимал h баландликдан тушиш керак?

Берилган: R — сиртмоқнинг радиуси.

Топиш керак: h — тушиш баландлигини.

Ечилиши. Жисмнинг B нуқтадаги вазияти учун Ньютоннинг иккинчи қонунини қўллаймиз. Масаланинг шартига кўра жисм B нуқтада муаллақ ҳолда бўлганлиги туфайли, унинг



2.6- расм

$P = mg$ оғирлиги $F_{\text{м. п.}} = \frac{mv^2}{R}$ марказга интилма кучга тенг бўлиши шарт. Бинобарин $mg = \frac{mv^2}{R}$, бундан $v^2 = Rg$ бўлади.

Энергиянинг сақланиш қонунига кўра жисмнинг A нуқтадаги тўлиқ энергияси $W_{T1} = mgh$, унинг B нуқтадаги тўлиқ энергияси $W_{T2} = \frac{mv^2}{2} + 2mgR$ га тенг бўлиши керак, яъни:

$$mgh = \frac{mv^2}{2} + 2mgR \quad \text{ёки} \quad h = \frac{v^2}{2g} + 2R,$$

бунда $v^2 = Rg$ бўлганлиги учун:

$$h = \frac{Rg}{2g} + 2R = \frac{R}{2} + 2R = 2,5R.$$

Жавоб: $h = 2,5R$.

Мустақил ечиш учун масалалар

16.1. $h = 20$ м баландликдан вертикал йўналишда $v_1 = 10$ м/с тезлик билан тушган $m = 400$ г массали жисм Ерга $v_2 = 20$ м/с тезлик билан урилган. Ҳавонинг қаршичилигини енишда бажарилган A ишни топинг.

Жавоб: $A = m \left(gh + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} \right) = 18,4$ Ж.

16.2. Горизонтга нисбатан маълум бир бурчак остида $v_0 = 16$ м/с тезлик билан отилган жисмнинг $h = 10$ м баландликдаги тезлиги v ни топинг.

Жавоб: $v = \sqrt{v_0^2 - 2gh} = 7,75$ м/с.

16.3. Тош $h = 4$ м баландликдан горизонтга нисбатан маълум бир бурчак остида $v_0 = 5$ м/с тезлик билан отилган бўлса унинг Ерга тушиш пайтидаги тезлиги v ни топинг.

$$\text{Жавоб: } v = \sqrt{2gh + v_0^2} = 10,2 \text{ м/с.}$$

16.4. Маълум бир баландликдан $v_0 = 8$ м/с тезлик билан отилган тош Ерга $v = 12$ м/с тезлик билан тушган бўлса, унинг тушиш баландлиги h ни топинг.

$$\text{Жавоб: } h = \frac{v^2 - v_0^2}{2g} = 4,1 \text{ м.}$$

16.5. Массаси $m = 50$ г бўлган тош $h = 20$ м баландликдан $v_0 = 18$ м/с тезлик билан горизонтга нисбатан маълум бир бурчак остида отилганда у Ерга $v = 24$ м/с тезлик билан тушган бўлса, ҳаво қаршилигини енгилда бажарилган A ишни топинг.

$$\text{Жавоб: } A = m \left(gh + \frac{v_0^2 - v^2}{2} \right) = 3,5 \text{ Ж.}$$

16.6. $h = 6$ м баландликдан тушаётган $m = 2$ кг массали тош Ерга $v = 8$ м/с тезлик билан урилган бўлса, у ҳаводаги ҳаракати давомида қанча A иш бажарган?

$$\text{Жавоб: } A = m \left(gh - \frac{v^2}{2} \right) = 53,6 \text{ Ж.}$$

16.7. Гидростанция турбиналарига $h = 20$ м баландликда $v_1 = 5$ м/с тезлик билан оқаётган сув тушиб, ундан $v_2 = 4$ м/с тезлик билан чиқиб кетади. Турбиналардан ҳар $t = 1$ с да ўтаётган сувнинг ҳажми $V = 6$ м³. Агар станциянинг фойдали қуввати $N_{\phi} = 0,9$ МВт бўлса, унинг фойдали иш коэффициентини η ни топинг. Сувнинг зичлиги $\rho = 1 \cdot 10^3$ кг/м³ га тенг.

$$\text{Жавоб: } \eta = \frac{2N_{\phi} \cdot t}{\rho V (2gh - v_1^2 + v_2^2)} = 0,75 = 75\%.$$

16.8. Массаси $m = 200$ г бўлган ва $v = 30$ м/с тезлик билан юқорига вертикал отилган жисмнинг ҳаракат бошлангандан $t = 2$ с кейинги потенциал $W_{\text{пот}}$ ва кинетик $W_{\text{кин}}$ энергияларини топинг.

$$\text{Жавоб: } W_{\text{пот}} = mg \left(vt - \frac{gt^2}{2} \right) = 79,2 \text{ Ж}; \quad W_{\text{кин}} = \frac{m}{2} (v - gt)^2 = 10,8 \text{ Ж.}$$

16.9. $h_1 = 10$ м баландликдан юқорига вертикал отилган $m = 800$ г массали жисмнинг кинетик энергияси $W_{\text{кин}} = 196$ Ж бўлса, у Ер сиртидан қандай h баландликка кўтарилади?

$$\text{Жавоб: } h = h_1 + \frac{W_{\text{кин}}}{mg} = 35 \text{ м.}$$

16.10. Массаси $m = 20$ т бўлган вагон тиргакка $v = 0,2$ м/с тезлик билан яқинлашиб урилганда, вагоннинг иккала буфер пружинаси $\Delta l = 4$ см дан сиқилган. Ҳар қайси пружинага таъсир қилувчи куч F нинг максимал қийматини тоинг.

Жавоб: $F = \frac{mv^2}{2\Delta l} = 1 \cdot 10^4$ Н.

III б о б. СТАТИКА

● Айланиш ўқига эга бўлмаган жисмга таъсир қилаётган кучларнинг геометрик (вектор) йиғиндиси нолга тенг бўлса, жисм мувозанатда бўлади, яъни:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0. \quad (\text{III. 1})$$

● Айланиш ўқига эга бўлган жисмга таъсир қилаётган F кучнинг l куч елкасига кўлайтмасига M куч моменти дейилади:

$$M = F \cdot l, \quad (\text{III. 2})$$

бунда l — айланиш ўқидан куч қўйилган тўғри чизиққача бўлган масофа.

● Айланиш ўқига эга бўлган жисм мувозанатда бўлиши учун унга таъсир қилувчи куч моментларининг геометрик йиғиндиси нолга тенг бўлиши керак.

$$\vec{M}_1 + \vec{M}_2 + \dots + \vec{M}_n = \sum_{i=1}^n \vec{M}_i = 0. \quad (\text{III. 3})$$

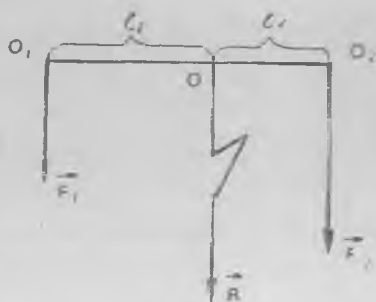
● Бир томонга йўналган икки параллел кучнинг тенг таъсир этувчиси шу кучларнинг алгебраик йиғиндисига тенг бўлиб, уларга параллел ва бир томонга йўналгандир (3.1-расм):

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \text{ ёки } R = F_1 + F_2, \quad (\text{III. 4})$$

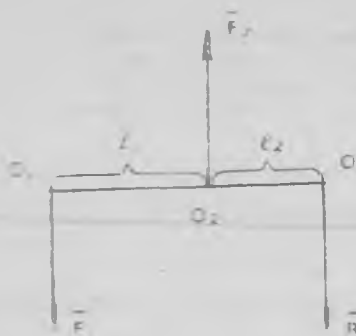
бунда R — тенг таъсир этувчи куч, унинг қўйилиш нуқтасига нисбатан F_1 ва F_2 кучларнинг моментлари ўзаро тенгдир:

$$F_1 l_1 = F_2 l_2. \quad (\text{III. 4a})$$

● Қарама-қарши томонга йўналган икки параллел кучнинг тенг таъсир этувчиси уларнинг геометрик йиғиндисига ёки алгебраик айирмасига тенг бўлиб, кичик куч томонга йўналгандир (3.2-расм):



3.1-расм



3.2-расм

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \text{ ёки } R = F_2 - F_1 \quad (\text{III. 5})$$

R — нинг қўйилиш нуқтаси қуйидаги шартдан аниқланади (3.2-расм):

$$F_1 l_1 = (F_2 - F_1) l_2. \quad (\text{III. 5a})$$

● Жисмлар системасининг оғирлик маркази, яъни система оғирлиги $\vec{P} = \vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \dots + \vec{P}_n = \sum_{i=1}^n \vec{P}_i$, ($i = 1, 2, \dots$) нинг

қўйилиш нуқтасининг $r_{o.m}$ радиус-вектори қуйидаги муносабатдан аниқланади:

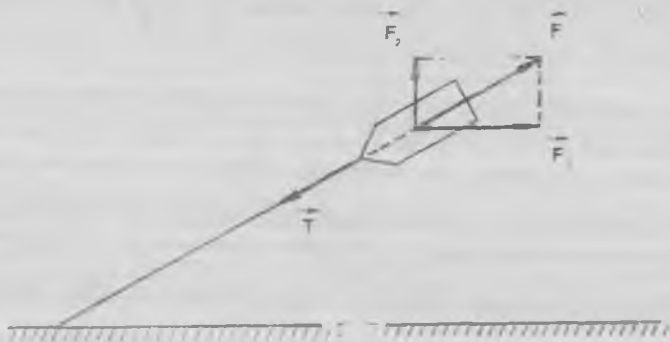
$$r_{o.m} = \frac{P_1 r_1 + P_2 r_2 + \dots + P_n r_n}{P} = \sum \frac{P_i r_i}{P}, \quad (\text{III. 6})$$

бунда r_i ($i = 1, 2, \dots$) — системадаги жисмлар вазиятларини аниқловчи радиус-векторлар.

17-§. ЖИСМЛАРНИНГ МУВОЗАНАТИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Пристанга боғлаб қўйилган катерга сувнинг $F_1 = 400$ Н оқим кучи ва шамолнинг оқим йўналишига перпендикуляр бўлган $F_2 = 300$ Н босим кучи таъсир қилмоқда. Катерни ушлаб турган трөснинг таранглик кучи T ни топинг (3.3-расм).



3.3-расм

Берилган: $F_1 = 400 \text{ Н}$; $F_2 = 300 \text{ Н}$.

Топиш керак: $T = ?$

Ечилиши. Изланаётган тарапга кучи T ни мувозанатловчи куч сифатида қараш мақсадга мувофиқдир. Бу куч катталик жиҳатдан F_1 ва F_2 кучларнинг тенг таъсир этувчиси F га тенгдир:

$$T = F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = \sqrt{16 \cdot 10^4 \text{ Н}^2 + 9 \cdot 10^4 \text{ Н}^2} = 500 \text{ Н}.$$

Жавоб: $T = 500 \text{ Н}$.

2-масала. Бир учи билан деворга шарнирли маҳкамланган узунлиги $AC = 2 \text{ м}$ бўлган стерженга оғирлиги $P = 600 \text{ Н}$ бўлган юк осилган. Бу стерженнинг иккинчи учи узунлиги $BC = 2,5 \text{ м}$ бўлган трос билан тутиб турилади. Стерженга ва тросга таъсир килувчи F_1 ва F_2 кучлар топилсин (3.4-расм).

Берилган: $P = 600 \text{ Н}$; $AC = 2 \text{ м}$; $BC = 2,5 \text{ м}$.

Топиш керак: $F_1 = ?$ $F_2 = ?$

Ечилиши. 3.4-расмда кўрсатилгандек, жисмнинг P оғирлигини F_1 ва F_2 иккита ташкил этувчиларга ажратамиз ва учбурчакларнинг ўхшашлиги $\triangle ABC \sim \triangle DCF_2$ дан қуйидагиларни ёзамиз:

$$\frac{D}{F_1} = \frac{AB}{AC}, \text{ бунда } AB = \sqrt{BC^2 - AC^2} \text{ бўлганлиги учун}$$

$$F_1 = P \frac{AC}{\sqrt{BC^2 - AC^2}} = 600 \text{ Н} \frac{2 \text{ м}}{\sqrt{2,5^2 \text{ м}^2 - 2^2 \text{ м}^2}} = 800 \text{ Н}.$$

Пифагор теоремасига асосан $\triangle DCF_2$ дан

$$F_2 = \sqrt{P^2 + F_1^2} = \sqrt{36 \cdot 10^4 \text{ Н}^2 + 64 \cdot 10^4 \text{ Н}^2} = 1000 \text{ Н}.$$

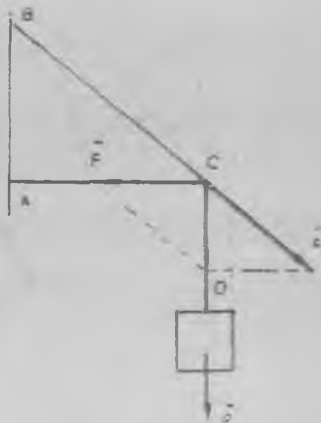
Жавоб: $F_1 = 800 \text{ Н}$; $F_2 = 1000 \text{ Н}$.

3-масала. $m = 50 \text{ кг}$ массали жисмни узунлиги $l = 13 \text{ м}$ ва баландлиги $h = 5 \text{ м}$ бўлган қия текислик бўйлаб юқорига текис чиқариш учун текислик бўйлаб жисмга қандай F куч қўйилиши керак? Ишқаланиш коэффициентини $k = 0,125$ га тенг (3.5-расм)

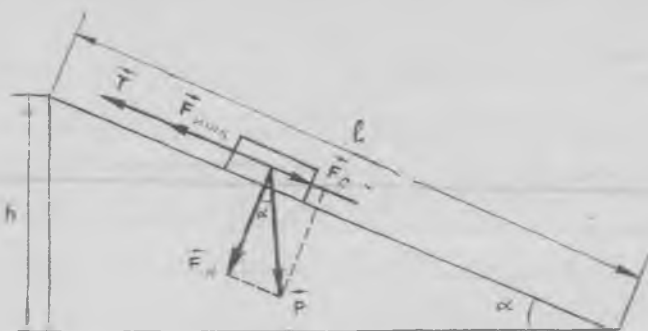
Берилган: $m = 50 \text{ кг}$; $l = 13 \text{ м}$; $h = 5 \text{ м}$; $k = 0,125$.

Топиш керак: $F = ?$

Ечилиши. 3.5-расмда кўрсатилгандек, жисмнинг P оғирлик кучини иккита: F_c — жисмни пастга судровчи ва уни қия



3.4-расм



3.5- расм

текисликка сиқувчи F_N — нормал босим кучларига ажратамиз.

Жисмни текис ҳаракатга келтирувчи F куч F_c судровчи куч ва $F_{\text{тр}}$ ишқаланиш кучи билан мувозанатлашиши керак, яъни: $F = F_c + F_{\text{тр}}$, бунда $F_c = P \sin \alpha = mg \sin \alpha$ ва $F_{\text{тр}} = kF_N = kP \cos \alpha = kmg \cos \alpha$ бўлиб, чизмадан $\sin \alpha = \frac{h}{l}$,

$\cos \alpha = \frac{\sqrt{l^2 - h^2}}{l}$ бўлганлиги учун:

$$F = mg \frac{h}{l} + kmg \frac{\sqrt{l^2 - h^2}}{l} = \frac{mg}{l} (h + k\sqrt{l^2 - h^2}) =$$

$$= \frac{50 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2}{13 \text{ м}} (5 \text{ м} + 0,125 \cdot \sqrt{13^2 \text{ м}^2 - 5^2 \text{ м}^2}) = 245 \text{ Н.}$$

Жавоб: $F = 245 \text{ Н.}$



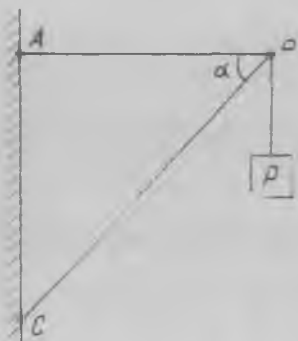
3.6- расм

Мустақил ечиш учун масалалар

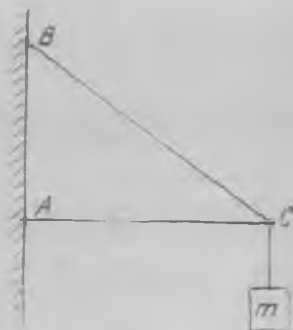
17.1. Оғирликлари мос равишда $P_1 = 20 \text{ Н}$, $P_2 = 50 \text{ Н}$ ва $P_3 = 100 \text{ Н}$ бўлган учта қадоқ тош учта арқон ёрдамида кетма-кет қилиб бир-бирига осилган (3.6- расм). Ҳар қайси арқоннинг T_1 , T_2 , T_3 таранглик кучларини топинг.

Жавоб: $T_1 = P_1 + P_2 + P_3 = 170 \text{ Н}$; $T_2 = P_2 + P_3 = 150 \text{ Н}$; $T_3 = P_3 = 100 \text{ Н.}$

17.2. Оғирлиги $P = 90 \text{ Н}$ бўлган юк ABC кронштейнга осиб қўйилган (3.7- расм). Горизонтал AB стержень билан BC кашак орасидаги бурчак $\alpha = 60^\circ$ га тенг бўлса, BC кашакни сиқувчи F_1 ва AB стерженьни чўзувчи F_2 кучларни топинг.



3.7- расм



3.8- расм

Жавоб: $F_1 = \frac{P}{\sin \alpha} = 103,9 \text{ Н}; F_2 = \frac{P}{\tan \alpha} = 52 \text{ Н}.$

17.3. Бир учи билан деворга маҳкамланган, узунлиги $AC = 2 \text{ м}$ бўлган стерженнинг C учига $m = 120 \text{ кг}$ массали юк осилган (3.8-расм). Бу стерженнинг иккинчи учи узунлиги $BC = 2,5 \text{ м}$ ли трос билан тортиб қўйилган. Стерженни сиқувчи F_1 ва тросни чўзувчи F_2 кучларни топинг.

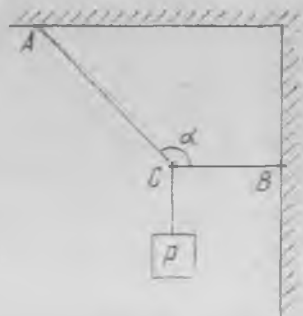
Жавоб: $F_2 = mg \frac{AC}{\sqrt{BC^2 - AC^2}} \approx 1,57 \text{ кН}; F_1 = mg \frac{BC}{\sqrt{BC^2 - AC^2}} = 1,92 \text{ кН}.$

17.4. Оғирлиги $P = 200 \text{ Н}$ бўлган кўча фонари уй деворига бир-биридан $AB = 60 \text{ см}$ оралиқда маҳкамланган иккита стерженнинг учига осилган (3.9-расм). Агар стерженларнинг узунликлари мос равишда $AC = 90 \text{ см}$, $BC = 120 \text{ см}$ бўлса, AC стерженни чўзувчи F_1 ва BC стерженни сиқувчи F_2 кучларни топинг.

Жавоб: $F_1 = P \frac{AC}{AB} = 300 \text{ Н}; F_2 = P \frac{BC}{AB} = 400 \text{ Н}.$



3.9- расм



3.10- расм

17.5. Оғирлиги $P = 600$ Н бўлган юк 3.10-расмда кўрсатилгандек, икки тросга осилган. Агар икки трос орасидаги бурчак $\alpha = 120^\circ$ бўлса, AC ва BC тросларни чўзувчи F_1 ва F_2 кучларни топинг.

$$\text{Жавоб: } F_1 = \frac{P}{\cos(\alpha - 90^\circ)} = 193 \text{ Н; } F_2 = P \operatorname{tg}(\alpha - 90^\circ) = 346 \text{ Н.}$$

17.6. Массаси $m = 100$ кг бўлган юк горизонтга нисбатан $\alpha = 60^\circ$ бурчак остида йўналган куч таъсирида горизонтал текисликда бир текис силжимоқда. Агар ишқаланиш коэффициентини $k = 0,3$ га тенг бўлса, жисмга таъсир қилувчи F кучни топинг.

$$\text{Жавоб: } F = \frac{km g}{\cos \alpha} = 588 \text{ Н.}$$

17.7. Оғирлиги $P = 900$ Н бўлган юк қиялик бурчаги $\alpha = 30^\circ$ бўлган текисликда ётибди. Қия текисликнинг узунлигига параллел йўналишда юкка таъсир қилувчи F_c куч билан юкни қия текисликка сиқувчи F_N босим кучини топинг.

$$\text{Жавоб: } F_c = P \sin \alpha = 450 \text{ Н; } F_N = P \cos \alpha = 779 \text{ Н.}$$

17.8. Қиялик бурчаги $\alpha = 30^\circ$ бўлган текисликда жисм бир текис сирланиб тушаётган бўлса, ишқаланиш коэффициентини k ни топинг.

$$\text{Жавоб: } k = \operatorname{tg} \alpha = 0.58.$$

17.9. Массаси $m = 1000$ кг бўлган автомобиль ҳар $l = 100$ м йўлда $h = 1$ м га пасая борадиган тепаликдан тормозланган ҳолда ўзгармас тезлик билан тушаётган бўлса, ҳаракатга таъсир қилувчи ишқаланиш кучи $F_{\text{ишқ}}$ ни топинг.

$$\text{Жавоб: } F_{\text{ишқ}} = mg \frac{h}{l} = 980 \text{ Н.}$$

17.10. Узунлиги $l = 1,5$ м бўлган стерженнинг иккала учига бир хил йўналишда $F_1 = 20$ Н ва $F_2 = 30$ Н бўлган иккига параллел куч қўйилган. Тенг таъсир этувчи R кучнинг катталиги ва бу кучнинг қўйилиш нуқтаси ҳар бир кучдан қандай l_1 ва l_2 масофада бўлишини аниқланг.

$$\text{Жавоб: } R = F_1 + F_2 = 50 \text{ Н; } l_1 = l \frac{F_2}{F_1 + F_2} = 0,9 \text{ м;}$$

$$l_2 = \frac{l F_1}{F_1 + F_2} = 0,6 \text{ м.}$$

17.11. Узунлиги $l = 1,2$ м бўлган стерженнинг биринчи учига, ўртасига ва иккинчи учига мос равишда бир хил йўналган $F_1 = 30$ Н, $F_2 = 80$ Н ва $F_3 = 90$ Н ли параллел кучлар қўйилган. Бу кучларнинг R тенг таъсир этувчиси ва унинг қў-

Йилиш нуқтаси стерженнинг ўртасидан қандай x масофада бўлишини топинг.

Жавоб: $R = F_1 + F_2 + F_3 = 200 \text{ Н}$; $x = \frac{l}{F_1 + F_2 + F_3} \cdot \frac{F_1 - F_2}{F_1 + F_2 + F_3} = 0,18 \text{ м}$.

17.12. Қарама-қарши томонларга йўналган ва бири $F_1 = 20 \text{ Н}$, иккинчиси $F_2 = 50 \text{ Н}$ бўлган иккита параллел кучлар қўйилган нуқталарнинг оралиғи $l = 0,45 \text{ м}$ га тенг. Шу кучларнинг тенг таъсир этувчиси R нинг катталигини ва унинг қўйилиш нуқтаси ҳар бир кучдан қандай l_1 ва l_2 масофада бўлишини топинг.

Жавоб: $R = F_2 - F_1 = 30 \text{ Н}$; $l_1 = l \frac{F_2}{F_2 - F_1} = 0,75 \text{ м}$;

$$l_2 = l \frac{F_1}{F_2 - F_1} = 0,3 \text{ м}.$$

17.13. Йўналишлари орасидаги α бурчак 0° , 45° , 60° , 90° , 180° бўлган $F_1 = 30 \text{ Н}$ ва $F_2 = 40 \text{ Н}$ кучлар аналитик усулда қўшилгандаги натижаловчи R кучни топинг.

Жавоб: $R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1 \cdot F_2 \cdot \cos \alpha}$; $R_1 = 70 \text{ Н}$; $R_2 = 64,8 \text{ Н}$;
 $R_3 = 60,8 \text{ Н}$; $R_4 = 50 \text{ Н}$; $R_5 = 10 \text{ Н}$.

18-§. ЖИСМЛАРНИНГ ОГИРЛИК МАРКАЗИ

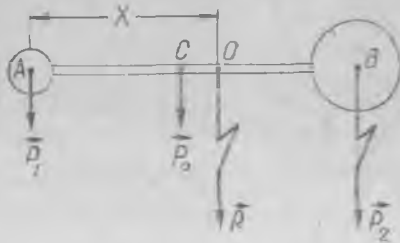
Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Штанга узунлиги $l = 50 \text{ см}$ ва оғирлиги $P_0 = 20 \text{ Н}$ бўлган цилиндрдан бирининг радиуси $r_1 = 3 \text{ см}$ ва оғирлиги $P_1 = 15 \text{ Н}$, иккинчисининг радиуси $r_2 = 6 \text{ см}$ ва оғирлиги $P_2 = 120 \text{ Н}$ бўлган иккита шардан иборат (3.11-расм). Штанганинг оғирлик маркази кичик шарнинг марказидан қандай x масофада бўлади?

Берилган: $l = 0,5 \text{ м}$; $r_1 = 3 \cdot 10^{-2} \text{ м}$; $r_2 = 6 \cdot 10^{-2} \text{ м}$; $P_0 = 20 \text{ Н}$; $P_1 = 15 \text{ Н}$; $P_2 = 120 \text{ Н}$.

Тоғиш керак: $x = ?$

Ечилиши. Штанганинг оғирлик маркази O оғирлик кучлари P_0 , P_1 , P_2 нинг тенг таъсир этувчиси R нинг қўйилиш нуқтаси бўлиб, шу нуқтага таянч қўйилса, штанга мувозанатда бўлади. Штанга мувозанатда бўлганда O нуқтага нисбатан куч моментларнинг йиғиндиси нолга тенг, яъни $\sum M = 0$ бўлади.



3.11-расм

Куч моментларини топишдан олдин куч ва унга мос келган елкаларни жадвал кўринишида ёзамиз.

Куч	P_1	P_0	P_2
Елка	$AO = x$	$CO = x - \left(\frac{l}{2} + r_1\right)$	$OB = (l + r_1 + r_2) - x$

У ҳолда O нуқтага нисбатан куч моментларининг йиғиндиси қуйидагига тенг бўлади:

$$P_1 \cdot AO + P_0 \cdot CO - P_2 \cdot OB = 0,$$

ёки

$$P_1 x + P_0 \left[x - \left(\frac{l}{2} + r_1 \right) \right] - P_2 [(l + r_1 + r_2) - x] = 0.$$

Бундан изланаётган x масофа қуйидагига тенг бўлади:

$$x = \frac{P_0(l/2 + r_1) + P_2(l + r_1 + r_2)}{P_0 + P_1 + P_2} = \frac{20 \text{ Н} \cdot 0,28 \text{ м} + 120 \text{ Н} \cdot 0,59 \text{ м}}{20 \text{ Н} + 15 \text{ Н} + 120 \text{ Н}} = 0,493 \text{ м}.$$

Жавоб: $x = 0,493 \text{ м}$.

2-масала. $R = 12 \text{ см}$ радиусли бир жинсли доиравий пластинкадан унга уринма равишда радиуси ундан икки марта кичик бўлган $r = \frac{R}{2}$ доира қирқиб олинган (3.12-расм). Ҳосил бўлган пластинканинг оғирлик маркази O пластинканинг оғирлик марказидан қандай x масофада бўлади?

Берилган: $R = 12 \text{ см}$; $r = \frac{R}{2}$.

Топиш керак: $x = ?$

Ечилиши Қирқиб олинган қисмини фикран тўлдирамиз. Бу r радиусли доиранинг оғирлик кучи P_1 нинг маркази (A нуқта) га қўйилган бўлади. Қирқилган пластинканинг мувозанати бузилмаслиги учун катталиқ жиҳатдан P_1 га тенг бўлган юқорига йўналган P_1' кучни A нуқтага қўйиш керак. Демак, қирқимли пластинка мувозанатда бўлиши учун, P_1 ва P оғирлик кучларининг O нуқтага нисбатан моментларининг йиғиндиси нолга тенг бўлиши керак:

$$P_1(r + x) - Px = 0. \quad (1)$$

Бунда P_1 , P — кичик ва катта доираларнинг оғирлиги бўлиб, улар қуйидагига тенгдир:

$$P_1 = \rho g V_r = \rho g h \pi r^2 = \rho g h \pi \frac{R^2}{4};$$

$$P_2 = \rho g V_R = \rho g h \pi R^2,$$



3.12- расм



3.13- расм.

бунда ρ — зичлик, h — пластинканинг қалинлиги, g — эркин тушиш тезланиши.

Бу ифодаларни (1) га қўйилса:

$$\rho gh\pi \frac{R^2}{4} (r + x) - \rho gh\pi R^2 x = 0.$$

Бу тенгликни $\rho gh\pi R^2$ га бўлиб ҳамда $r = \frac{R}{2}$ эканлигини назарга олиб қуйидаги ифодани ҳосил қиламиз:

$$\frac{1}{4} \left(\frac{R}{2} + x \right) - x = 0.$$

Бундан изланаётган x ни топамиз:

$$x = \frac{R}{6} = \frac{12 \text{ см}}{6} = 2 \text{ см.}$$

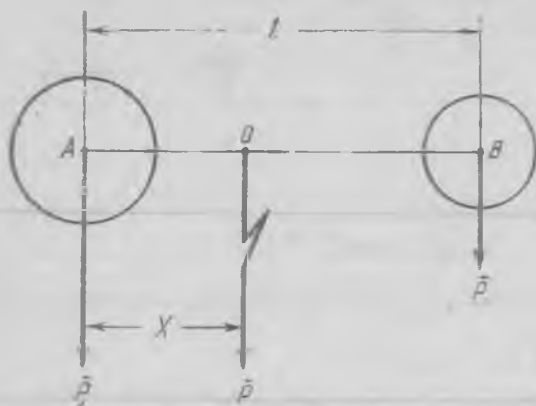
Жавоб: $x = 2$ см масофада.

3- масала. 3.13- расмда тасвирланган шарларнинг қайси бири турғун, қайси бири турғунмас ва қайси бири фарқсиз мувозанат ҳолатида бўлади?

Ечилиши. а) Ботиқ сиртда ётган шарни мувозанат ҳолатидан чиқарилса (3.13- расм, а), унга аввало мувозанат ҳолатига қайтарувчи $M = Pl$ кучи моменти таъсир қилади ва иккинчидан оғирлик маркази кўтарилади. Демак, бу шар турғун мувозанат ҳолатида бўлади.

б) Қавариқ сиртда турган шар мувозанат ҳолатидан чиқарилса, унга биринчидан мувозанат ҳолатидан узоқлаштирувчи куч моменти таъсир қилади, иккинчидан оғирлик маркази пасая боради (3.13- расм, б). Бу ҳолда шар турғунмас мувозанат ҳолатида бўлади.

в) Горизонтал сиртда ётган шарга (3.13- расм, в) ҳар қандай вазиятда ҳам биринчидан таянч нуқтасига нисбатан куч моменти таъсир қилмайди ва иккинчидан оғирлик маркази ўзгармасдан қолади. Бинобарин, бу ҳолда шар фарқсиз мувозанат ҳолатида бўлади.



3.14-расм

шарлар марказларининг оралиғи $l = 1$ м га тенг бўлса (3.14-расм), системанинг оғирлик маркази биринчи шарнинг марказидан қандай x масофада бўлади?

Жавоб: $x = l \frac{P_2}{P_1 + P_2} = 0,2$ м.

18.3. Ойнинг массаси Ер массасининг $\eta = 1,2\%$ ини ташкил қилади. Уларнинг орасидаги масофа $l = 384\,000$ км га тенг. Ер—Ой системасининг массалар маркази Ернинг массаси марказидан қандай x масофада жойлашган бўлади?

Жавоб: $x = l \frac{m}{m + M} = l \frac{\eta}{\eta + 1} = 4559$ км.

18.4. Массалари $m_1 = 100$ г, $m_2 = 200$ г бўлган иккита шар битта тўғри чизикда координата бошидан мос равишда $x_1 = 40$ см ва $x_2 = 50$ см масофаларда жойлашган. Мазкур системанинг массалари марказининг координатаси x ни топинг.

Жавоб: $x = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m_1 + m_2} = 46,7$ см.

18.5. Узунлиги $l = 30$ см ва оғирлиги $P_0 = 20$ Н бўлган стерженнинг учларига $P_1 = 30$ Н ва $P_2 = 50$ Н оғирликдаги шарлар маҳкамланган. Агар биринчи шарнинг радиуси $r_1 = 5$ см, иккинчисиники $r_2 = 7$ см бўлса, системанинг оғирлик маркази кичик шарнинг марказидан қандай x масофада бўлади?

Жавоб: $x = \frac{P_0(l/2 + r_1) + P_2(l + r_1 + r_2)}{P_1 + P_0 + P_2} = 25$ см.

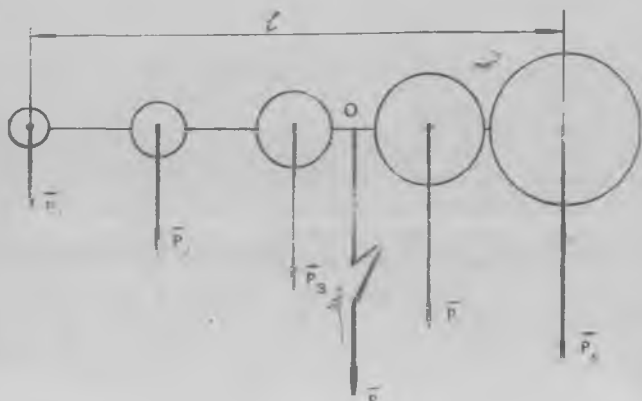
18.6. Узунлиги $l = 90$ см ли стерженга кетма-кег туриш тартибида оғирликлари $P_1 = 10$ Н, $P_2 = 20$ Н, $P_3 = 30$ Н, $P_4 = 40$ Н ва $P_5 = 50$ Н бўлган бешта шар узаро бир хил ора-

Мустақил ечиш учун масалалар

18.1. Бир жинсли стерженнинг учидан $l_1 = 30$ см қирқиб ташланса, унинг оғирлик маркази қанча x масофага силжийди?

Жавоб: $x = \frac{l_1}{2} = 15$ см.

18.2. Оғирликлари $P_1 = 40$ Н ва $P_2 = 10$ Н дан бўлган



3.15- расм

лиқда ўрнатилган (3.15- расм). Системанинг оғирлик маркази стерженнинг чап томондаги учидан қандай x масофада жойлашган? Стерженнинг оғирлиги ҳисобга олинмайди.

$$\text{Жавоб: } x = \frac{l}{4} \cdot \frac{P_2 + 2P_3 + 3P_4 + 5P_5}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5} = 60 \text{ см.}$$

18.7. Агар узунлиги $l = 40$ см бўлган стерженнинг ярми қўرғошдан ва қолган ярми темирдан иборат бўлса, унинг оғирлик маркази стерженнинг ўртасидан қандай x масофада бўлади? Қўрғош ва темирнинг зичликлари мос равишда $\rho_1 = 11400$ кг/м³ ва $\rho_2 = 7800$ кг/м³.

$$\text{Жавоб: } x = \frac{l}{4} \cdot \frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2} = \frac{l}{4} \cdot \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1 + \rho_2} = 1,98 \text{ см.}$$

18.8. Радиуслари бир хил ($r = 8$ см) бўлган бири рухдан, иккинчиси алюминийдан ясалган иккита шар уриниш нуқтасида бир-бирига маҳкамланган. Системанинг оғирлик маркази рухдан ясалган шарнинг марказидан қандай x масофада бўлади? Рух ва алюминийнинг зичликлари мос равишда $\rho_1 = 7100$ кг/м³ ва $\rho_2 = 2700$ кг/м³.

$$\text{Жавоб: } x = 2r \cdot \frac{P_2}{P_1 + P_2} = 2r \cdot \frac{\rho_2}{\rho_1 + \rho_2} = 4,4 \text{ см.}$$

18.9. Узунлиги $l = 4$ м ва оғирлиги $P_0 = -200$ Н бўлган тахтада бирининг оғирлиги $P_1 = 300$ Н, иккинчисининг оғирлиги эса $P_2 = 500$ Н бўлган иккита бола „иннана“ ўйнапти. Агар болалардан бири тахтанинг бир учидан, иккинчиси эса иккинчи учидан ўтирган бўлса, тахтанинг таянч нуқтаси тахтанинг ўртасидан қандай x масофада ўрнатилиши керак?

$$\text{Жавоб: } x = \frac{l}{2} \cdot \frac{P_2 - P_1}{P_1 + P_0 + P_2} = 0,4 \text{ м.}$$

18.10. Диаметри $D = 25$ см бўлган станок ўқиға $M = 60$ Н·м га тенг куч momenti таъсир қилса, бу моментнинг кучи F нимага тенг бўлади.

Жавоб: $F = \frac{2M}{D} = 480$ Н.

18.11. Оғирлиги $P = 16$ кН бўлган вагонетканинг узунлиги $l = 3$ м га, ғилдираклари ўқларининг оралиғи эса $l_1 = 1,8$ м га тенг. Вагонетканинг бир томонидан кўтариш учун қандай F куч керак? Шу вагонетканинг бир томони $h = 30$ см га кўтарилганда унинг оғирлик маркази қандай x баландликка кўтарилади?

Жавоб: $F = P \frac{l}{l_1 + l} = 6$ кН; $x = h \frac{l_1}{l_1 + l} = 11,25$ см.

IV боб. СУЮҚЛИКЛАР ВА ГАЗЛАР СТАТИКАСИ

● Бир бирлик юзага перпендикуляр равишда таъсир қилувчи кучга миқдор жиҳатдан тенг бўлган физик катталikka босим дейилади:

$$p = \frac{F}{S}. \quad (IV.1)$$

● Суюқлик (газ) устунининг босими p унинг баландлиги h га пропорционалдир:

$$p = \rho gh, \quad (IV.2)$$

бунда ρ — суюқлик (газ) нинг зичлиги, g — эркин тушиш тезланиши.

● Тугаш идишлардаги турли суюқликларнинг мувозанат ҳолатдаги устунларининг баландликлари суюқликларнинг зичликларига тескари пропорционал бўлади:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}. \quad (IV.3)$$

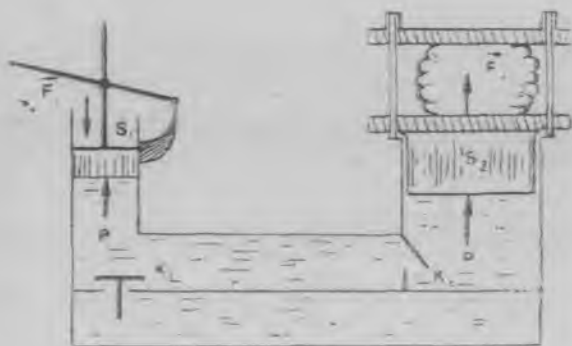
● Гидравлик пресснинг катта поршенининг юзаси S_2 кичик поршенининг юзаси S_1 дан неча марта катта бўлса, катта юзага таъсир қилувчи F_2 куч кичик юзага таъсир қилувчи F_1 кучдан шунча марта катта бўлади (4.1-расм):

$$F_2 = F_1 \frac{S_2}{S_1}. \quad (IV.4)$$

● Суюқлик (газ) га ботирилган жисмга ўзи сиқиб чиқарган суюқлик (газ) нинг оғирлиги $P_0 = \rho_0 gh$ га тенг, юқори томонга йўналган F_A куч (Архимед кучи) таъсир қилади:

$$F_A = \rho_0 g V, \quad (IV.5)$$

бунда ρ_0 — суюқлик (газ) нинг зичлиги, g — эркин тушиш тезланиши, V — жисмнинг ҳажми.



4.1- расм

● Суюқлик (газ) оқимининг узлуксизлик қонуни: Суюқликнинг узлуксиз оқими деб, қувурнинг ихтиёрий кўндаланг кесими юзасидан вақт бирлиги ичида ўтган суюқликнинг ҳажми Sv ўзгармас қоладиган оқимга айтилади.

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 \text{ ёки } Sv = \text{const}, \quad (\text{IV.6})$$

бунда S_1 ва S_2 — қувур кесимларининг юзлари, v_1 ва v_2 — оқимларнинг тезликлари.

● Бернулли қонуни: ҳаракатланаётган суюқлик (газ) нинг тўла босими динамик ва статик босимларнинг йиғиндисига тенгдир:

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + \rho g h_1 + p_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho g h_2 + p_2, \quad (\text{IV.7})$$

бунда $\frac{\rho v^2}{2}$ — динамик босим, $(\rho g h + p)$ — статик босим, ρ — суюқлик (газ) зичлиги, h_1 , h_2 — қувур учларининг горизонтга нисбатан баландликлари, p_1 , p_2 — шу баландликларга мос келган босимлар.

19- §. ГИДРОСТАТИК БОСИМ. ТУТАШ ИДИШЛАР ҚОНУНИ

Масалалар ечиш намуналари

1- масала. Кепада сув сатҳидан $h = 3$ м пастда $S = 5 \text{ см}^2$ юзали тешик ҳосил бўлган. Тешикни беркитувчи ямоқни ушлаб туриш учун кеманинг ички томонидан қандай минимал F куч қўйиш талаб қилинади? Сувнинг зичлиги $\rho = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Берилган: $h = 3$ м; $S = 5 \text{ см}^2 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$; $\rho = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Топиш керак: $F = ?$

Ечилиши. Сув устунининг гидростатик босими $p = \rho gh$ бўлганлиги учун, сув сатҳидан h чуқурликдаги S юзага таъсир қилувчи босим кучи F қуйидагига тенг бўлади:

$$F = pS = \rho ghS,$$

бунда ρ — сувнинг зичлиги, g — эркин тушиш тезланиши. Бинобарин,

$$\begin{aligned} F &= \rho ghS = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 3 \text{ м} \cdot 5 \cdot 10^{-1} \text{ м}^2 = \\ &= 14,7 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} = 14,7 \text{ Н}. \end{aligned}$$

Жавоб: $F = 14,7 \text{ Н}$.

2-масала. Цилиндрик идишга массалари миқдор жиҳатдан тенг бўлган симоб ва сув қуйилган. Иккала суюқлик қатламнинг умумий баландлиги $h_0 = 50$ см га тенг. Суюқликлар идиш тубига кўрсатадиган босим p топилсин. Симоб ва сувнинг зичликлари мос равишда $\rho_1 = 13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; $\rho_2 = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Берилган: $h_0 = 50 \text{ см} = 0,5 \text{ м}$, $\rho_1 = 13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$;
 $\rho_2 = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Топиш керак: $p = ?$

Ечилиши. Идишдаги суюқликларнинг умумий баландлиги h_0 симоб ва сув баландликларининг йиғиндисига тенг $h_0 = h_1 + h_2$ бўлиб, уларнинг массалари тенг бўлганлиги туфайли $\rho_1 h_1 S = \rho_2 h_2 S$ бўлади. Бинобарин, қуйидаги муносабатга эга бўламиз:

$$h_0 = h_1 + h_2; \quad \rho_1 h_1 = \rho_2 h_2, \quad (1)$$

бунда ρ_1 ва ρ_2 мос равишда симоб ва сувнинг зичликлари.

Кейинги ифодадан h_1 нинг қийматини топиб, уни биринчи тенгламага қўйсак:

$$h_0 = h_2 \frac{\rho_2}{\rho_1} + h_2 = h_2 \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} + 1 \right) = h_2 \frac{\rho_2 + \rho_1}{\rho_1}$$

Бундан

$$h_2 = h_0 \frac{\rho_1}{\rho_1 + \rho_2}.$$

Иккала суюқликнинг идишнинг тубига кўрсатадиган умумий босими уларнинг алоҳида босимларининг йиғиндисига тенг:

$$p = p_1 + p_2 = \rho_1 g h_1 + \rho_2 g h_2.$$

Бу тенгламани (1) нинг иккинчи ифодасига биноан қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$p = 2\rho_1 g h_1 = 2\rho_2 g h_2.$$

Бу ифодага (2) дан h_2 нинг қиймати қўйилса:

$$p = 2\rho_2gh_2 = 2\rho_2gh_0 \frac{\rho_1}{\rho_1 + \rho_2} = \frac{2\rho_1 \cdot \rho_2gh_0}{\rho_1 + \rho_2} =$$

$$= \frac{2 \cdot 13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 0,5 \text{ м}}{13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 + 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3} \approx 9,13 \cdot 10^3 \text{ Па.}$$

Жавоб: $p \approx 9,13 \cdot 10^3 \text{ Па.}$

3- масала. Тугаш идишларга дастлаб симоб қуйилди, кейин эса идишлардан бирига $h_1 = 21,5 \text{ см}$ баландликда сув, иккинчисига эса бензин қуйилди, бунда сув билан бензиннинг юкори сатҳлари баробар бўлган. Тугаш идишдаги симоб сатҳлари орасидаги фарқ Δh қандай бўлади? Симоб, сув ва бензиннинг зичликлари мос равишда $\rho = 13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; $\rho_1 = 1 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$ ва $\rho_2 = 0,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Берилган: $h_1 = 21,5 \text{ см} = 0,215 \text{ м}$; $\rho = 13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; $\rho_1 = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; $\rho_2 = 0,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Топиш керак: $\Delta h = ?$

Ечилиши. Сувнинг зичлиги ρ_1 бензиннинг зичлиги ρ_2 дан катта бўлганлиги учун сувли идишдаги симобнинг сатҳи бензинли идишдаги симобнинг сатҳидан паст бўлади. Агар сув қуйилган идишдаги симобнинг сатҳидан AB горизонтал сирт ўтказилса (4.2-расм), у ҳолда симобнинг мувозанатда бўлган пастки қисмининг юқорига бўлган таъсирини ҳисобга олмаса ҳам бўлади. У ҳолда бир томондаги h_1 сув устуни билан иккинчи томондаги $h_2 = (h_1 - \Delta h)$ баландликдаги бензин ва Δh баландликдаги симоб устунлари ўзаро мувозанатда бўлади, яъни:

$$\rho_1gh_1 = \rho_2gh_2 + \rho g\Delta h,$$

ёки

$$\rho_1gh_1 = \rho_2g(h_1 - \Delta h + \rho g\Delta h),$$

бундан тугаш идишдаги симоб сатҳларининг фарқи қуйидаги-га тенг бўлади:



4.2-расм

$$\Delta h = h_1 \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho - \rho_2} = 0,125 \text{ м} \frac{1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 - 0,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3}{13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 - 0,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3} =$$

$$= 5 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 5 \text{ мм.}$$

Жавоб: $\Delta h = 5 \text{ мм.}$

Мустақил ечиш учун масалалар

19.1. Диаметри $d = 2,5 \text{ см}$ бўлган цилиндрик идишга $V = 12 \text{ л}$ сув қуйилган. Идиш тубидан $h = 10 \text{ м}$ баландликда унинг деворига бўлган p босимни топинг.

Жавоб: $p = \left(\frac{4V}{\pi d^2} - h \right) \rho g = 3,21 \cdot 10^5 \text{ Па.}$

19.2. Тубининг юзаси $S = 250 \text{ м}^2$ ва чуқурлиги $h = 4 \text{ м}$ бўлган тўғри бурчакли ҳовуз $\rho = 1030 \text{ кг/м}^3$ денгиз суви билан тўлдирилган. Сувнинг ҳовузнинг тубига бўлган босими p ва босим кучи F ни топинг.

Жавоб: $p = \rho gh = 40,3 \text{ кПа}; F = \rho ghS = 10,1 \text{ МН.}$

19.3. Сув босими ҳосил қилувчи минора идишдаги сувнинг сатҳи ҳавзадаги сувнинг сатҳидан $h = 30 \text{ м}$ баландда. $h_1 = 20 \text{ м}$ баландликда жойлашган сув қувурига булган p босимни аниқланг. Сувнинг зичлиги $\rho = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ га тенг.

Жавоб: $p = \rho g(h - h_1) = 98 \cdot 10^3 \text{ Па} = 98 \text{ кПа.}$

19.4. Чуқурлик бомбасининг портлаш босими $p = 5 \cdot 10^5 \text{ Па}$ гидростатик босимга мўлжалланган. Агар денгиз сувининг зичлиги $\rho = 1030 \text{ кг/м}^3$ бўлса, бомба қандай h чуқурликда портлайди?

Жавоб: $h = \frac{p}{\rho g} = 50 \text{ м.}$

19.5. Сув қуйилган бак асосининг томонлари $b = 2 \text{ м}$, $a = 1,2 \text{ м}$, баландлиги эса $h_0 = 50 \text{ см}$. Шу бакнинг қопқоғидаги тешикдан узунлиги $h = 3 \text{ м}$ бўлган вертикал най чиқиб туради. Агар бак ҳам, най ҳам сувга тўлдирилса, бак тубига қанча p босим таъсир қилади? Бакнинг қопқоғига пастдан юқори томонга қандай F куч таъсир қилади? Сувнинг зичлиги $\rho = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ га тенг.

Жавоб: $p = \rho g(h_0 + h) = 43,3 \text{ кПа}; F = \rho gh \cdot a \cdot b = 70,56 \text{ кН.}$

19.6. Француз олими Паскаль 1648 йилла ўтказган тажрибасида сув билан тулдирилган ҳамма томони беркитилган бочкага ингичка най ўрнатилган бўлиб, $h = 7,5 \text{ м}$ баландликдаги балкондан найча бър кружка сув билан тўлдирилганда бочканинг ички деворларига бўлган босим кучи уни парчалаб юборган. Агар бочканинг ички сиртининг юзи $S = 2 \text{ м}^2$ га тенг бўлса, унга таъсир қилувчи босим кучи F ни топинг. Сув-

нинг зичлиги $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ га ва эркин тушиш тезланиши $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ га тенг.

Жавоб: $F = \rho ghS = 147 \text{ кН}$.

19.7. Малакали шўнғувчи денгизда $h = 20 \text{ м}$ чуқурликкача тушиши мумкин. Агар денгиз сувининг зичлиги $\rho = 1030 \text{ кг/м}^3$ га тенг бўлса, сув унга қандай p босим кўрсатади? Агар танасининг юзи тахминан $S = 2 \text{ м}^2$ бўлса, сувнинг унга кўрсатган F босим кучи нимага тенг?

Жавоб: $p = \rho gh = 201,88 \text{ кПа}$; $F = \rho ghS = 403,76 \text{ кН}$.

19.8. Туташ идишларга аввал симоб қуйилиб, сўнгра $S_1 = 8 \text{ см}^2$ ли кенгроқ найига $m_1 = 272 \text{ г}$ массали сув қуйилди. Туташ идишларнинг ингичка найидаги симоб йўғон найидаги сувга қараганда қандай h_2 баландликда бўлади? Симобнинг зичлиги $\rho = 13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ га тенг.

Жавоб: $h_2 = \frac{m_1}{\rho_2 S_1} = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 2,5 \text{ см}$.

19.9. Туташ идишларга аввал симоб солиниб, унинг устидан идишларнинг бирига $h_1 = 48 \text{ см}$ баландликкача ёғ, иккинчисига эса $h_2 = 20 \text{ см}$ баландликда керосин қуйилди. Икки идишдаги симоб устуни баландликларининг фарқи Δh ни топинг. Ёғнинг зичлиги $\rho_1 = 920 \text{ кг/м}^3$, керосиннинг зичлиги $\rho_2 = 800 \text{ кг/м}^3$, симобники эса $\rho = 13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Жавоб: $\Delta h = \frac{\rho_1 h_1 - \rho_2 h_2}{\rho} = 2,1 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 2,1 \text{ см}$.

19.10. Гидравлик пресснинг кичик поршенига босимни узатувчи ричагининг узун елкасига $F = 100 \text{ куч}$ таъсир қилади. Ричагнинг елкалари орасидаги нисбат $l_2/l_1 = 9$ га тенг. Прессдаги кичик поршенининг юзи $S_1 = 5 \text{ см}^2$, катта поршенининг юзи эса $S_2 = 500 \text{ см}^2$ бўлса, бу гидравлик прессда қандай F_2 босим кучини ҳосил қилиш мумкин? Пресснинг фойдалиши коэффициентини $\eta = 80\%$ га тенг деб олинг.

Жавоб: $F_2 = \eta F \left(\frac{l_2}{l_1} \right) \left(\frac{S_2}{S_1} \right) = 72 \text{ кН}$.

19.11. Кичик поршенининг юзи $S_1 = 100 \text{ см}^2$, каттасиники эса $S_2 = 2000 \text{ см}^2$ бўлган гидравлик пресс оғирлиги $P = 20000 \text{ Н}$ бўлган автомашинани кўтармоқда. Агар кичик поршень ҳар бир циклда $h_1 = 25 \text{ см}$ га пасаяётган бўлса, $t = 1 \text{ мин}$ даги цикллар сони n ни топинг. Пресс двигателининг қуввати $N = 0,5 \text{ кВт}$, фойдали иш коэффициенти $\eta = 75\%$.

Жавоб: $n = \frac{\eta N t}{P h_1} \left(\frac{S_2}{S_1} \right) = 90$.

20-§. АРХИМЕД ҚОНУНИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Шоҳ Гиеронга тайёрланган тожнинг ҳаводаги $P=9,81$ Н ва сувдаги $P=9,22$ Н оғирлигини билган ҳолда Архимед тожни бузмасдан унинг соф олтинданми ёки сохта эканлигини қандай аниқлаб берган? Сув ва олтиннинг зичликлари мос равишда $\rho_0 = 1 \cdot 10^3$ кг/м³ ва $\rho_1 = 19,3 \cdot 10^3$ га тенг.

Берилган: $P = 9,81$ Н; $P_1 = 9,22$ Н; $\rho_0 = 1 \cdot 10^3$ кг/м³;
 $\rho_1 = 19,3 \cdot 10^3$ кг/м³.

Топиш керак: $\rho = ?$

Ечилиши. Бу саволга жавоб бериш учун тожнинг зичлиги ρ ни аниқлаб, уни олтиннинг зичлиги ρ_1 билан солиштириш керак.

Тожнинг зичлиги

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{P}{gV}, \quad (1)$$

бунда P —тожнинг ҳаводаги оғирлиги, V —унинг ҳажми. Тожнинг ҳажми у сиқиб чиқарган сувнинг V ҳажмига тенг бўлиб, уни сиқиб чиқарилган сувнинг P_0 оғирлиги ва ρ_0 зичлиги орқали аниқлаш мумкин:

$$V = \frac{P_0}{g\rho_0}. \quad (2)$$

Архимед қонунига биноан сиқиб чиқарилган сувнинг оғирлиги P_0 жисми юқорига итарувчи куч (Архимед кучи) га тенг, яъни:

$$P_0 = P - P. \quad (3)$$

P_0 нинг қийматини (2) га қўйиб, ҳосил бўлган ифодани (1) га қўйсақ:

$$\rho = \rho_0 \frac{P}{P - P} = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \frac{9,81 \text{ Н}}{9,81 \text{ Н} - 9,22 \text{ Н}} = 16,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

Жавоб: $\rho = 16,6 \cdot 10^3$ кг/м³ < $\rho_1 = 19,3 \cdot 10^3$ кг/м³, демак, тож соф олтиндан тайёрланмаган экан.

2-масала. Шиша бўлаги зичлиги $\rho_0 = 1 \cdot 10^3$ кг/м³ бўлган сувда $a = 5,8$ м/с² тезланиш билан тушаётган бўлса, шишанинг зичлиги ρ ни топинг.

Берилган: $\rho_0 = 1 \cdot 10^3$ кг/м³; $a = 5,8$ м/с²; $g = 9,8$ м/с².

Топиш керак: $\rho = ?$

Ечилиши. Шишанинг оғирлиги $P = \rho g V$ билан уни итарувчи Архимед кучи $F_A = \rho_0 g V$ нинг фарқидан иборат бўлган куч шишани сувда пастга a тезланиш билан ҳаракатлантиради. У вақтда Ньютоннинг иккинчи қонунига биноан қуйидагига эга бўламиз:

$$m \cdot a = P - F_A \text{ ёки } \rho V a = \rho g V - \rho_0 g V.$$

Охирги ифодадан изланаётган шишанинг зичлиги ρ қуйидагига тенг бўлади:

$$\rho = \rho_0 \frac{g}{g - a}.$$

Бунда ρ_0 —сувнинг зичлиги.

Демак, шишанинг зичлиги:

$$\rho = \rho_0 \frac{g}{g - a} = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \frac{9,8 \text{ м/с}^2}{9,8 \text{ м/с}^2 - 5,8 \text{ м/с}^2} = 2,45 \text{ кг/м}^3.$$

Жавоб: $\rho = 2,45 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

3- масала. Аэростатни ҳавога кўтариш учун $V_1 = 2400 \text{ м}^3$ ҳажмли қобиғи водород билан тўлдирилган. Агар аэростатнинг умумий ҳажми $V = 3000 \text{ м}^3$, қобиғи, тўри, кажаваси, балласти ва командасининг умумий оғирлиги $P_2 = 31360 \text{ Н}$ бўлса, унинг кўтарилиш тезланиши a ни топинг. Водород ва ҳавонинг зичликлари мос равишда $\rho_1 = 0,09 \text{ кг/м}^3$ ва $\rho_0 = 1,29 \text{ кг/м}^3$ га тенг.

Берилган: $V = 3000 \text{ м}^3$; $V_1 = 2400 \text{ м}^3$; $P_2 = 31360 \text{ Н}$;

$$\rho_0 = 1,29 \text{ кг/м}^3; \rho_1 = 0,09 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Топиш керак: $a = ?$

Ечилиши. Аэростатни юқорига ҳаракатлантирувчи F куч, юқорига вертикал йўналган ҳавонинг итариш кучи (Архимед кучи) F_A билан унинг умумий оғирлиги P нинг тенг таъсир этувчисидан иборатдир, яъни:

$$F = F_A - P. \quad (1)$$

Ньютоннинг иккинчи қонунига биноан ҳаракатга келтирувчи куч $F = ma = \frac{P}{g} a$ бўлганлиги учун $P \frac{a}{g} = F_A - P$. Бундан

$$a = g \frac{F_A - P}{P} = g \left(\frac{F_A}{P} - 1 \right). \quad (2)$$

Аэростатнинг умумий оғирлиги P ундаги водороднинг оғирлиги $P_1 = \rho_1 g V_1$ билан қолган оғирлиги P_2 нинг йиғиндисига тенг:

$$P = P_1 + P_2 = \rho_1 g V_1 + P_2.$$

Архимед кучи F_A эса аэростат сиқиб чиқарган ҳавонинг оғирлигига тенг бўлади, яъни:

$$F_A = \rho_0 g V$$

P ва F_A нинг қийматларини (2) га қўйсақ:

$$a = g \left(\frac{\rho_0 g V}{\rho_1 g V_1 + P_2} - 1 \right) = 9,8 \text{ м/с}^2 \times \left(\frac{1,29 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 3 \cdot 10^3 \text{ м}^3}{0,09 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 2,4 \cdot 10^3 \text{ м}^3 + 31360 \text{ Н}} - 1 \right) \approx 1,3 \text{ м/с}^2.$$

Жавоб: $a \approx 1,3 \text{ м/с}^2$.

Мустақил ечиш учун масалалар

20.1. Зичлиги $\rho_0 = 1030 \text{ кг/м}^3$ бўлган денгиз сувда сузиб юрган катта муз парчасининг сув сиртидан чиққан қисмининг ҳажми $V_1 = 200 \text{ м}^3$ бўлса, муз парчасининг бутун ҳажми V ни топинг. Музнинг зичлиги $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$ га тенг.

Жавоб: $V = V_1 \frac{\rho}{\rho_0 - \rho} = 1584,6 \text{ м}^3.$

20.2. Оғирлиги $P = 750 \text{ Н}$ бўлган одамни кўтариб тура оладиган $h = 50 \text{ см}$ қалинликдаги ясси музнинг сирти S энг камида қандай бўлиши керак? Музнинг зичлиги $\rho = 0,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, сувнинг зичлиги $\rho_0 = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ га тенг.

Жавоб: $S = \frac{P}{(\rho_0 - \rho)gh} = 1,53 \text{ м}^2.$

20.3. Оғирлиги ҳавода $P = 2,8 \text{ Н}$, сувда эса $P_1 = 1,69 \text{ Н}$ бўлган бир жинсли жисмнинг зичлиги ρ ни топинг. Сувнинг зичлиги $\rho_0 = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ га тенг.

Жавоб: $\rho = \rho_0 \frac{P}{P - P_1} = 2520 \text{ кг/м}^3.$

20.4. Номаълум суюқликнинг зичлигини аниқлаш учун бир жинсли жисмни пружинали тарозида шу суюқликда, вакуумда ва сувда тортилди. Агар жисмнинг оғирлиги номаълум суюқликда $P_1 = 1,66 \text{ Н}$, вакуумда $P_2 = 1,8 \text{ Н}$, сувда эса $P_3 = 1,6 \text{ Н}$ бўлса, номаълум суюқликнинг ρ_1 ва жисмнинг ρ_2 зичликларини топинг. Сувнинг зичлиги $\rho_0 = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ га тенг.

Жавоб: $\rho_1 = \rho_0 \frac{P_2 - P_1}{P_2 - P_3} = 700 \text{ кг/м}^3;$ $\rho_2 = \rho_0 \frac{P_1}{P_2 - P_3} = 8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3.$

20.5. Оғирлиги $P = 16 \text{ кН}$ ва кўтариш кучи (Архимед кучи) $F_A = 12 \text{ кН}$ бўлган, текис тушаётган аэростат худди шундай тезлик билан кўтарила бошлаши учун қанча ΔP оғирликдаги балластни ташлаб юбориш керак?

Жавоб. $\Delta P = 2(P - F_A) = 8 \cdot 10^3 \text{ Н} = 8 \text{ кН}.$

20.6. Ҳар бирининг ҳажми $V_0 = 0,8 \text{ м}^3$ дан бўлган $N = 25$ та қарағай ходасидан ясалган сол сувда оғирлиги P қандай бўлган юкни кўтариб тура олади? Сувнинг зичлиги $\rho_0 = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ га, қарағайнинг зичлиги $\rho = 650 \text{ кг/м}^3$ га тенг.

Жавоб: $P = N(\rho_0 - \rho)gV_0 = 6860 \text{ Н}.$

20.7. Сувдаги $V = 0,5 \text{ м}^3$ ҳажмли тошни $h = 1 \text{ м}$ чуқурликдан оҳиста кўтариш учун қандай A иш бажариш керак? Сувнинг зичлиги $\rho_0 = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ га, тошнинг зичлиги $\rho = 2,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ га тенг.

Жавоб: $A = (\rho - \rho_0)gVh = 7,35 \cdot 10^3 \text{ Ж} = 7,35 \text{ кЖ}.$

20.8. Зичлиги $\rho = 400 \text{ кг/м}^3$ бўлган жисм сувга $H = 6 \text{ см}$ чуқурликкача ботиши учун қандай h баландликдан тушиши керак? Сувнинг зичлиги $\rho_0 = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ га тенг.

Жавоб: $h = H \frac{\rho_0 - \rho}{\rho} = 9 \text{ см.}$

20.9. Ҳажми $V = 2000 \text{ м}^3$ бўлган аэростат водород билан тўлдирилди. Унинг қобиғи, тўри, кажаваси, балласти ва командасининг умумий оғирлиги $P = 15680 \text{ Н}$ га тенг бўлса, аэростатни юқорига ҳаракатлантирувчи F кучни топинг. Водороднинг зичлиги $\rho = 0,09 \text{ кг/м}^3$ га, ҳавонинг зичлиги эса $\rho_0 = 1,29 \text{ кг/м}^3$ га тенг.

Жавоб: $F = (\rho_0 - \rho)gV - P = 7,84 \text{ кН.}$

20.10. 1933 йилда стратосферага $h = 19 \text{ км}$ баландликка кўтарилган стратостатнинг қобиғи, кажаваси, балласти ва командасининг умумий оғирлиги $P = 24300 \text{ Н}$ га тенг бўлган. Кўтарилиш олдидан ҳажми $V = 2500 \text{ м}^3$ бўлган қобиғида $V_1 = 2150 \text{ м}^3$ водород бўлган. Шу стратостат қандай a бошланғич тезланиш билан кўтарила бошлаган? Водороднинг зичлиги $\rho_1 = 0,09 \text{ кг/м}^3$ га, ҳавонинг зичлиги эса $\rho_0 = 1,29 \text{ кг/м}^3$ га тенг.

Жавоб: $a = g \left(\frac{\rho_0 g V}{\rho_1 g V_1 + P} - 1 \right) \approx 2 \text{ м/с}^2.$

Ҳ 6 0 6. МОДДАНИНГ ТУЗИЛИШИ ВА ГАЗЛАРНИНГ
МОЛЕКУЛЯР-КИНЕТИК НАЗАРИЯСИ

● Ҳар қандай модданинг 1 кмоль миқдоридagi молекулалар ёки атомлар сони бир хил бўлиб, унга *Авогадро сони* дейилади:

$$N_A = 6,025 \cdot 10^{26} \text{ кмоль}^{-1}. \quad (V.1)$$

● Модда миқдори ёки мольлар сони қуйидагига тенг:

$$\nu = \frac{m}{\mu} = \frac{N}{N_A} = \frac{V}{V_0}, \quad (V.2)$$

бунда N — берилган моддадаги молекула (ёки атом)лар сони, m — берилган модданинг массаси, N_A — Авогадро сони, μ — мольлар масса, V — газнинг ҳажми, $V_0 = 22,4 \text{ м}^3/\text{кмоль}$ — 1 кмоль газнинг нормал шароитдаги ҳажми.

● Берилган моддадаги молекула (ёки атом)лар сони

$$N = \nu N_A = N_A \frac{m}{\mu} = N_A \frac{V}{V_0}. \quad (V.3)$$

● Модданинг битта молекуласи (ёки атом)нинг массаси мольлар масса μ ни Авогадро сони N_A га бўлган нисбатига тенг:

$$m_0 = \frac{m}{N} = \frac{\mu}{N_A}. \quad (V.4)$$

● Модданинг ҳажм бирлигидаги молекула (ёки атом)лар сони қуйидагига тенг:

$$n_0 = \frac{N}{V} = \frac{N_A}{V_0} = \rho \frac{N_A}{\mu}, \quad (V.5)$$

бунда N — моддадаги молекула (ёки атом)лар сони, V — модданинг ҳажми, ρ — зичлиги, N_A — Авогадро сони, μ — мольлар масса.

● Кельвин шкаласи K бўйича олинган абсолют ҳарорат T Цельсий шкаласи $^{\circ}C$ бўйича олинган ҳарорат t билан қуйидаги боғланишга эга:

$$T = (273 + t)K; \quad t = (T - 273)^{\circ}C. \quad (V.6)$$

- Битта газ молекуласи тартибсиз иссиқлик ҳаракатининг ўртача кинетик энергияси

$$W_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{mv_{\text{кв}}^2}{2}, \quad (\text{V.7})$$

бунда m — молекуланинг массаси, $v_{\text{кв}}$ — молекуланинг ўртача квадратик тезлиги.

- Бир атом ($i=3$) ли газ молекулалари илгариланма иссиқлик ҳаракатининг ўртача кинетик энергияси абсолют ҳароратга пропорционалдир:

$$\overline{W_{\text{кин}}} = \frac{3}{2} kT \quad (\text{V.8})$$

бунда k — Больцман доимийси бўлиб, у газнинг универсал доимийси R ни Авогадро сони N_A га бўлган нисбатига тенгдир:

$$k = \frac{R}{N_A} = \frac{8,31 \cdot 10^3 \text{ Ж/кмоль} \cdot \text{К}}{6,023 \cdot 10^{26} \text{ 1/кмоль}} = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Ж}}{\text{К}}. \quad (\text{V.8 а.})$$

- Эркинлик даражаси i га тенг бўлган битта молекула иссиқлик ҳаракатининг ўртача кинетик энергияси қуйидагига тенг:

$$W_{\text{кин}} = \frac{i}{2} kT, \quad (\text{V.9})$$

бунда i — молекуланинг эркинлик даражаси бўлиб, у бир атомли газ (инерт газлар: He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn) молекулалари учун $i=3$ га; икки атомли газ ($\text{H}_2, \text{N}_2, \text{O}_2, \dots$) молекулалари учун $i=5$ га; уч ва кўп атомли газ молекулалари учун эса $i=6$ га тенг.

- Газ молекулаларининг идиш деворига берадиган босими тенгламаси — газларнинг молекуляр-кинетик назариясининг асосий тенгламаси бўлиб, у қуйидаги кўринишларга эга:

$$p = \frac{2}{3} n_0 \overline{W_{\text{кин}}} = \frac{2}{3} n_0 \frac{mv_{\text{кв}}^2}{2} = n_0 kT, \quad (\text{V.10})$$

бунда n_0 — газ молекулаларининг концентрацияси, k — Больцман доимийси, m — молекула массаси, $v_{\text{кв}}$ — газ молекулаларининг ўртача квадратик тезлиги.

- Газ молекуласининг ўртача квадратик тезлиги қуйидагига тенг:

$$v_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}, \quad (\text{V.11})$$

бунда k — Больцман доимийси, m — битта молекуланинг массаси, R — газнинг универсал доимийси, μ — моляр масса, T — абсолют ҳарорат.

● Ўзгармас массали ($m = \text{const}$) газ учун изотермик ($T = \text{const}$) жараёнда Бойль—Мариотт қонуни ўринлидир:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 = \text{const}. \quad (\text{V.12})$$

● Ўзгармас массали газ ($m = \text{const}$) учун изобарик ($p = \text{const}$) жараёнда Гей-Люссак қонуни ўринлидир:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \text{const}. \quad (\text{V.13})$$

Ўзгармас массали газ ($m = \text{const}$) учун изохорик ($p = \text{const}$) жараёнда Шарль қонуни ўринлидир:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} = \text{const}. \quad (\text{V.14})$$

Ўзгармас массали газ ($m = \text{const}$) учун умумий ҳолда Клапейрон тенгламаси (бирлашган газ қонуни) ўринлидир.

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} = \text{const}. \quad (\text{V.15})$$

Бир киломоль ($\frac{m}{\mu} = 1$ кмоль, $V = V_m$) газнинг ҳолати Клапейрон тенгламаси асосида аниқланади:

$$p V_m = RT, \quad (\text{V.16})$$

бунда V_m — модданинг моляр ҳажми, R — газнинг универсал доимийси бўлиб, унинг СИ системасидаги сон қиймати қуйидагига тенгдир:

$$R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{Ж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}} = 8,31 \frac{\text{Ж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}.$$

Ихтиёрый массали газнинг ҳолати Менделеев—Клапейрон тенгламаси асосида аниқланади:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT, \quad (\text{V.17})$$

бунда $\frac{m}{\mu}$ — модда миқдори, p — босим, V — ҳажм, R — газнинг универсал доимийси, T — абсолют ҳарорат.

● Газнинг зичлиги — газнинг ҳажм бирлигига мос келган массасига тенг бўлган физик катталикидир:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{p\mu}{RT}. \quad (\text{V.18})$$

● Дальтон қонунига биноан газ аралашмасининг босими p ҳар бир газ ҳосил қилган p_1, p_2, p_3, \dots парциал босимларнинг йиғиндисига тенгдир:

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots \quad (\text{V.19})$$

● Газлар аралашмасидаги модда миқдори, яъни мольлар сони:

$$\nu = \frac{m}{\mu} = \frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} + \frac{m_3}{\mu_3} + \dots \quad (\text{V.20})$$

21-§. МОДДА МИҚДОРИ. АТОМ ВА МОЛЕКУЛАЛАРНИНГ МАССА ҲАМДА ЎЛЧАМЛАРИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Массаси $m=12,8$ кг бўлган мис ($\mu=64$ кг/кмоль) қуймасида қанча модда миқдори ν бор?

Берилган: $m=12,8$ кг; $\mu=64$ кг/кмоль.

Топиш керак: $\nu=?$

Ечилиши. Мис қуймасидаги модда миқдори ν унинг массаси m ни моляр массаси μ га бўлган нисбатига тенг:

$$\nu = \frac{m}{\mu} = \frac{12,8 \text{ кг}}{64 \text{ кг/кмоль}} = 0,2 \text{ кмоль} = 200 \text{ моль.}$$

Жавоб: $\nu = 0,2$ кмоль = 200 моль.

2-масала. Модда миқдори $\nu=500$ моль бўлган кислород ($\mu=32$ кг/кмоль) газининг массаси m ва ҳажми V топилсин. Нормал шароит ($T_0=273$ К, $p_0=1$ атм = $1,0132 \cdot 10^5$ Па) да 1 кмоль ихтиёрий газнинг ҳажми $V_0=22,4$ м³/кмольга тенг.

Берилган: $\nu=500$ моль = 0,5 кмоль; $\mu=32$ кг/кмоль; $V_0=22,4$ м³ кмоль.

Топиш керак: $m=?$, $V=?$

Ечилиши. Ҳар қандай газнинг массаси m моляр сони (модда миқдори) ν ни унинг моляр массаси μ га кўпайтмасига тенг:

$$m = \nu \mu = 0,5 \text{ кмоль} \cdot 32 \text{ кг/кмоль} = 16 \text{ кг.}$$

Берилган газнинг ҳажми унинг массаси m ни нормал шароитдаги зичлиги $\rho_0 = \frac{\mu}{V_0}$ (бунда μ —моляр масса, V_0 —моляр ҳажм) га бўлган нисбатига тенг:

$$V = \frac{m}{\rho_0} = \frac{m}{\mu/V_0} = \nu V_0 = 0,5 \text{ кмоль} \cdot 22,4 \text{ м}^3/\text{кмоль} = 11,2 \text{ м}^3.$$

Жавоб: $m=16$ кг; $V=11,2$ м³.

3-масала. Нормал шароит ($T_0=273$ К; $p_0=1,0132 \cdot 10^5$ Па) да $m_1=0,2$ кг гелий ($\mu_1=4$ кг/кмоль) ва $m_2=0,5$ кг кислород ($\mu_2=32$ кг/кмоль) газидаги молекулалар сони N_1 ва N_2 топилсин. Авогадро сони $N_A=6,025 \cdot 10^{26}$ 1/кмольга тенг.

Берилган: $m_1=0,2$ кг; $\mu_1=4$ кг/кмоль; $m_2=0,5$ кг; $\mu_2=32$ кг/кмоль; $N_A=6,025 \cdot 10^{26}$ 1/кмоль.

Топиш керак: $N_1=?$, $N_2=?$

Ечилиши. Берилган газ массасидаги молекулалар сонини қуйидаги формула ёрдамида топа миз:

$$N = N_A \frac{m}{\mu}$$

Масалادا берилганларни ўрнига қўйиб, ҳисоблаб чиқамиз:

$$N_1 = N_A \frac{m_1}{\mu_1} = 6,025 \cdot 10^{26} \text{ 1/кмоль} \frac{0,2 \text{ кг}}{4 \text{ кг/кмоль}} = 3,012 \cdot 10^{25} \text{ молекула};$$

$$N_2 = N_A \frac{m_2}{\mu_2} = 6,025 \cdot 10^{26} \text{ 1/кмоль} \frac{0,5 \text{ кг}}{32 \text{ кг/кмоль}} = \frac{3,012}{32} \cdot 10^{26} = 9,4 \cdot 10^{24} \text{ молекула.}$$

Жавоб: $N_1 = 3,012 \cdot 10^{25}$; $N_2 = 9,4 \cdot 10^{24}$.

4-масала. O_3 —озон ($\mu_1 = 48$ кг/кмоль), CO_2 —карбонат ангидрид ($\mu_2 = 44$ кг/кмоль) ва CH_4 —метан ($\mu_3 = 16$ кг/кмоль) газларининг битта молекуласининг массаси m_1 , m_2 ва m_3 топилсин.

Берилган: $\mu_1 = 48$ кг/кмоль; $\mu_2 = 44$ кг/кмоль; $\mu_3 = 16$ кг/кмоль; $N_A = 6,025 \cdot 10^{26}$ 1/кмоль.

Топиш керак: $m_1 = ?$, $m_2 = ?$, $m_3 = ?$

Ечилиши. Берилган газ молекуласининг массаси газнинг моляр массаси μ ни Авогадро сони N_A га бўлган нисбатига тенг:

$$m_1 = \frac{\mu_1}{N_A} = \frac{48 \text{ кг/кмоль}}{6,025 \cdot 10^{26} \text{ 1/кмоль}} = 8,0 \cdot 10^{-26} \text{ кг};$$

$$m_2 = \frac{\mu_2}{N_A} = \frac{44 \text{ кг/кмоль}}{6,025 \cdot 10^{26} \text{ 1/кмоль}} = 7,3 \cdot 10^{-26} \text{ кг};$$

$$m_3 = \frac{\mu_3}{N_A} = \frac{16 \text{ кг/кмоль}}{6,025 \cdot 10^{26} \text{ 1/кмоль}} = 2,76 \cdot 10^{-26} \text{ кг.}$$

Жавоб: $m_1 = 8,0 \cdot 10^{-26}$ кг; $m_2 = 7,3 \cdot 10^{-26}$ кг; $m_3 = 2,76 \cdot 10^{-26}$ кг.

Мустақил ечиш учун масала лар

21.1. Массалари $m_1 = 3$ кг бўлган алюминий ($\mu_1 = 27$ кг/кмоль) ва $m_2 = 0,4$ кг бўлган кислород ($\mu_2 = 32$ кг/кмоль) газининг модда миқдорлари ν_1 ва ν_2 ни топинг.

Жавоб: $\nu_1 = \frac{m_1}{\mu_1} = 0,111$ кмоль = 111 моль; $\nu_2 = \frac{m_2}{\mu_2} = 1,25 \cdot 10^{-2}$ кмоль = 12,5 моль.

21.2. Модда миқдори $\nu = 0,3$ кмоль бўлган азот икки оксиди (NO ; $\mu = 30$ кг/кмоль)нинг массаси m ва ҳажмини топинг. Нормал шароит ($T_0 = 273$ К, $p_0 = 1$ атм. = $1,0132 \cdot 10^5$ Па) да 1 кмоль газнинг ҳажми $V_0 = 22,4$ м³/кмольга тенг.

Жавоб: $m = \nu \mu = 9 \text{ кг}$; $V = \frac{m}{\rho_0} = \frac{m}{\mu/V_0} = \nu \cdot V_0 = 6,72 \text{ м}^3$.

21.3. Массаси $m=5,4 \text{ кг}$ бўлган алюминий ($\mu=27 \text{ кг/кмоль}$) қўймасидаги атомлар сони N ни топинг. Авогадро сони $N_A = 6,025 \cdot 10^{26} \text{ 1/кмоль га тенг}$.

Жавоб: $N = N_A \frac{m}{\mu} = 1,25 \cdot 10^{26}$.

21.4. Водород (H_2 : $\mu_1 = 2 \text{ кг/кмоль}$) ва кислород (O_2 : $\mu_2 = 32 \text{ кг/кмоль}$) газлари молекулаларининг массалари m_1 ва m_2 ни топинг. Авогадро сони $N_A = 6,025 \cdot 10^{26} \text{ 1/кмоль га тенг}$.

Жавоб: $m_1 = \frac{\mu_1}{N_A} = 3,3 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$; $m_2 = \frac{\mu_2}{N_A} = 4,65 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$.

21.5. Нормал шароит ($T_0=263 \text{ К}$, $P_0=1 \text{ атм}=1,0132 \cdot 10^5 \text{ Па}$) да ҳажми $V=0,4 \text{ л}$ бўлган идишдаги газ молекулаларининг сони N ни топинг. Нормал шароитда 1 кмоль газнинг ҳажми $V_0=22,4 \text{ м}^3/\text{кмоль}$ га тенг.

Жавоб: $N = N_A \cdot \nu = N_A \frac{V}{V_0} = 1,08 \cdot 10^{24}$.

21.6. Ҳажми $V=1 \text{ л}$ бўлган сувдаги молекулалар сони N ни топинг. Сувнинг зичлиги $\rho=1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ га, моляр массаси $\mu=18 \text{ кг/кмоль}$ ва Авогадро сони $N_A = 6,025 \cdot 10^{26} \text{ 1/кмоль га тенг}$.

Жавоб: $N = N_A \frac{m}{\mu} = N_A \frac{\rho V}{\mu} = 3,3 \cdot 10^{26}$ та молекула.

21.7. Сув молекуласи (H_2O : $\mu=18 \text{ кг/кмоль}$)нинг диаметри d ни топинг. Сувнинг зичлиги $\rho=1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ га ва Авогадро сони $N_A = 6,025 \cdot 10^{26} \text{ 1/кмоль га тенг}$.

Жавоб: $d \approx \sqrt[3]{\frac{m}{\rho}} = \sqrt[3]{\frac{\mu}{\rho \cdot N_A}} = 3,1 \cdot 10^{-10} \text{ м}$.

21.8. Темир (Fe : $\mu=56 \text{ кг/кмоль}$) атомлари орасидаги масофа, яъни атомнинг диаметри d ни топинг. Темирнинг зичлиги $\rho=7800 \text{ кг/м}^3$ га ва Авогадро сони $N_A = 6,025 \cdot 10^{26} \text{ 1/кмоль га тенг}$.

Жавоб: $d = \sqrt[3]{\frac{m}{\rho}} = \sqrt[3]{\frac{\mu}{\rho \cdot N_A}} = 2,36 \cdot 10^{-10} \text{ м}$.

21.9. Сирти $S=20 \text{ см}^2$ бўлган буюмга $h=1 \text{ мкм}$ қалинликда қопланган кумуш (Ag : $\mu=108 \text{ кг/кмоль}$) қатламидаги атомлар сони N ни топинг. Кумушнинг зичлиги $\rho=10,5 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^3$ га, Авогадро сони $N_A = 6,025 \cdot 10^{26} \text{ 1/кмоль га тенг}$.

Жавоб: $N = N_A \frac{m}{\mu} = N_A \frac{\rho h S}{\mu} = 1,16 \cdot 10^{26}$ та атом.

21.10. Нормал шароит ($T_0=273\text{ К}$, $p_0=1\text{ атм}=1,0132\cdot 10^5\text{ Па}$) даги кислород ($\mu=32\text{ кг/кмоль}$) гази молекулаларининг концентрацияси n ни топинг. Кислороднинг зичлиги $\rho=1,43\text{ кг/м}^3$ га, Авогадро сони $N_A=6,025\cdot 10^{26}\text{ 1/кмольга тенг}$.

Жавоб: $n_0 = N_A \frac{\rho}{\mu} = 2,7\cdot 10^{25}\text{ 1/м}^3$.

21.11. Нормал шароит ($T_0=273\text{ К}$, $p_0=1\text{ атм.}=1,0132\cdot 10^5\text{ Па}$) даги сув буғи молекулаларининг марказлари орасидаги ўртача масофа d ни топинг. Нормал шароитдаги газнинг моляр ҳажми $V_0=22,4\text{ м}^3/\text{кмольга}$, Авогадро сони $N_A=6,025\cdot 10^{26}\text{ 1/кмольга тенг}$.

Жавоб: $d \approx \sqrt[3]{\frac{V_0}{N_A}} = 3,34\cdot 10^{-9}\text{ м}$.

21.12. $V=5\text{ л}$ ҳажмли идишдаги массаси $m=20\text{ г}$ бўлган кислород (O_2 ; $\mu=32\text{ кг/кмоль}$) гази молекулаларининг концентрацияси n_0 ни топинг. Авогадро сони $N_A=6,025\cdot 10^{26}\text{ 1/кмольга тенг}$.

Жавоб: $n_0 = \frac{N}{V} = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{N_A}{V} = 7,52\cdot 10^{24}\text{ 1/м}^3$.

22-§. ГАЗЛАРНИНГ МОЛЕКУЛЯР-КИНЕТИК НАЗАРИЯСИ АСОСЛАРИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Молекулалари илгариланма ҳаракатининг ўртача кинетик энергияси $W_{кин} = 8,08\cdot 10^{-21}\text{ Ж}$ бўлган газнинг ҳарорати T ни топинг. Больцман доимийси $k = 1,38\cdot 10^{-23}\text{ Ж/К}$ га тенг.

Берилган: $W_{кин} = 8,08\cdot 10^{-21}\text{ Ж}$; $k = 1,38\cdot 10^{-23}\text{ Ж/К}$.

Топиш керак: $T = ?$

Ечилиши. Газ молекулалари илгариланма ҳаракатининг ўртача кинетик энергияси $W_{кин}$ абсолют ҳарорат T га пропорционалдир:

$$W_{кин} = \frac{mv_{\text{ср}}^2}{2} = \frac{3}{2}kT.$$

Бундан изланаётган ҳарорат:

$$T = \frac{2}{3} \cdot \frac{W_{кин}}{k} = \frac{2 \cdot 8,08 \cdot 10^{-21}\text{ Ж}}{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23}\text{ Ж/К}} = 400\text{ К}.$$

Жавоб: $T = 400\text{ К}$.

2-масала. Газнинг ҳарорати $t_1 = -23^\circ\text{С}$ дан $t_2 = 77^\circ\text{С}$ гача ортганда молекулаларининг илгариланма ҳаракатининг кинетик энергияси неча фоизга ортиши $\Delta W_{кин}/W_{кин}$ ни топинг.

Берилган: $T_1 = (273 - 23) \text{ К} = 250 \text{ К},$

$T_2 = (273 + 77) \text{ К} = 350 \text{ К}.$

Топиш керак: $\Delta W_{\text{кин}} / W_{\text{кин}} = ?$

Ечилиши. Газ молекулалари илгариланма ҳаракатининг кинетик энергиясининг нисбий ўзгариши қуйидагига тенгдир:

$$\frac{\Delta W_{\text{кин}}}{W_{\text{кин}_1}} = \frac{W_{\text{кин}_2} - W_{\text{кин}_1}}{W_{\text{кин}_1}} = \frac{350 \text{ К} - 250 \text{ К}}{250 \text{ К}} = 0,4 = 40\%.$$

Жавоб: $\Delta W_{\text{кин}} / W_{\text{кин}_1} = 40\%.$

3-масала. Ҳароратлари $T = 800 \text{ К}$ бўлган гелий (He ; $\mu_1 = 4 \text{ кг/кмоль}$), кислород (O_2 ; $\mu_2 = 32 \text{ кг/кмоль}$) ва карбонат ангидрид (CO_2 ; $\mu_3 = 44 \text{ кг/кмоль}$) молекулаларининг ўртача квадратик тезликлари $v_{\text{кв}_1}$, $v_{\text{кв}_2}$ ва $v_{\text{кв}_3}$ топилсин. Газнинг уни-версал доимийси $R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{Ж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}}$.

Берилган: $T = 800 \text{ К}$; $\mu_1 = 4 \text{ кг/кмоль}$; $\mu_2 = 32 \text{ кг/кмоль}$;

$\mu_3 = 44 \text{ кг/кмоль}$; $R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{Ж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}}$.

Топиш керак: $v_{\text{кв}_1} = ?$ $v_{\text{кв}_2} = ?$ $v_{\text{кв}_3} = ?$

Ечилиши: Газ молекулаларининг ўртача квадратик тезлиги:

$$v_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}.$$

Бинобарин,

$$v_{\text{кв}_1} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu_1}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 8,31 \cdot 10^3 \text{ Ж/кмоль} \cdot \text{К} \cdot 800 \text{ К}}{4 \text{ кг/кмоль}}} = 2,24 \cdot 10^3 \text{ м/с};$$

$$v_{\text{кв}_2} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu_2}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 8,31 \cdot 10^3 \text{ Ж/кмоль} \cdot \text{К} \cdot 800 \text{ К}}{32 \text{ кг/кмоль}}} = 0,79 \cdot 10^3 \text{ м/с};$$

$$v_{\text{кв}_3} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu_3}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 8,31 \cdot 10^3 \text{ Ж/кмоль} \cdot \text{К} \cdot 800 \text{ К}}{44 \text{ кг/кмоль}}} = 0,67 \cdot 10^3 \text{ м/с}.$$

Жавоби: $v_{\text{кв}_1} = 2240 \text{ м/с}$; $v_{\text{кв}_2} = 790 \text{ м/с}$; $v_{\text{кв}_3} = 670 \text{ м/с}.$

4-масала. Ҳозирги замон лабораториясида диффузион насос ёрдамида $p = 1 \text{ кПа}$ босимли вакуум ҳосил қилиш мумкин. Агар $T = 300 \text{ К}$ бўлса, шундай вакуумдаги газ молекулаларининг концентрацияси n_0 топилсин. Больцман доимийси $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Ж/К}$.

Берилган: $p = 1 \text{ нПа} = 10^{-12} \text{ Па}$; $T = 300 \text{ К}$;

$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Ж/К}.$

Топиш керак: $n_0 = ?$

Ечилиши. Газларнинг молекуляр-кинетик назариясининг асосий тенгламаси $p = n_0 k T$ дан

$$n_0 = \frac{p}{kT} = \frac{10^{-12} \text{ Па}}{1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Ж/К} \cdot 300 \text{ К}} = \frac{10^{-12} \text{ Н/м}^2}{4,04 \cdot 10^{-21} \text{ Н} \cdot \text{м}} = 2,48 \cdot 10^8 \text{ 1/м}^3.$$

Жавоб: $n_0 = 2,48 \cdot 10^8 \text{ 1/м}^3$.

Мустақил ечиш учун масалалар

22.1. Молекулалари илгариланма ҳаракатининг ўртача кинетик энергияси $W_{\text{кин}} = 16,16 \cdot 10^{-21} \text{ Ж}$ бўлган газнинг ҳарорати T ни топинг. Больцман доимийси $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Ж/К}$ га тенг.

Жавоб: $T = \frac{2W_{\text{к}}}{3k} = 800 \text{ К}.$

22.2. Ҳарорати $t_1 = -73^\circ\text{C}$ бўлган газ молекулалари илгариланма ҳаракатининг ўртача кинетик энергияси $W_{\text{кин}_1}$ ни уч марта орттириш учун (яъни $W_{\text{кин}_2} = 3W_{\text{кин}_1}$ бўлиши учун) газни қандай T_2 ҳароратгача орттириш керак?

Жавоб: $T_2 = T_1 \frac{W_{\text{кин}_2}}{W_{\text{кин}_1}} = 600 \text{ К}.$

22.3. Ҳарорати $T = 350 \text{ К}$ бўлган метан газининг (CH_4) молекулалари илгариланма ҳаракатининг ўртача кинетик энергияси $W_{\text{кин}}$ ни топинг. Больцман доимийси $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Ж/К}$ га тенг.

Жавоб: $W_{\text{кин}} = \frac{3}{2} kT = 72,45 \cdot 10^{-21} \text{ Ж}.$

22.4. Ҳарорати $t = 127^\circ\text{C}$ бўлган бир атомли ($i = 3$) инерт газ—радон (Rn), икки атомли ($i = 5$) азот (N_2) ва уч атомли ($i = 6$) карбонат ангидрид (CO_2) молекулалари иссиқлик ҳаракатининг ўртача кинетик энергиялари $W_{\text{кин}_1}$, $W_{\text{кин}_2}$ ва $W_{\text{кин}_3}$ ни топинг. Больцман доимийси $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Ж/К}$ га тенг.

Жавоб: $W_{\text{кин}_1} = \frac{i_1}{2} kT = 8,28 \cdot 10^{-21} \text{ Ж}; W_{\text{кин}_2} = \frac{i_2}{2} kT = 13,8 \cdot 10^{-21} \text{ Ж};$

$W_{\text{кин}_3} = \frac{i_3}{2} kT = 16,56 \cdot 10^{-21} \text{ Ж}.$

22.5. Водород бомбаси портлаганда ҳарорат $T = 10^7 \text{ К}$ гача кўтарилади. Водород ионлари ($\mu = 1 \text{ кг/кмоль}$)нинг ўртача квадратик тезлиги $v_{\text{кв}}$ ни топинг. Газнинг универсал доимийси $k = 8,31 \cdot 10^3 \text{ Ж/кмоль} \cdot \text{К}$ га тенг.

Жавоб: $v_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3kT}{\mu}} = 5 \cdot 10^5 \text{ м/с}.$

22.6. Водород ($\mu_1 = 2$ кг/кмоль) молекулаларининг ўртача квадратик тезлиги $v_{\text{кв}_1} = 2000$ м/с га тенг бўладиган ҳароратда кислород ($\mu_2 = 32$ кг/кмоль) молекулаларининг ўртача квадратик тезлиги $v_{\text{кв}_2}$ қандай бўлишини топинг.

Жавоб: $v_{\text{кв}_2} = v_{\text{кв}_1} \sqrt{\frac{\mu_1}{\mu_2}} = 500$ м/с.

22.7. Нормал шароит ($T_0 = 273$ К, $p_0 = 1,0132 \cdot 10^5$ Па) даги газ молекулаларининг концентрацияси n_0 ни топинг. Больцман доимийси $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Ж/К га тенг.

Жавоб: $n_0 = \frac{p_0}{kT_0} = 2,7 \cdot 10^{25}$ 1/м³.

22.8. Ҳарорати $T = 550^\circ\text{C}$ ва босими $p = 150$ кПа булган газ молекулаларининг концентрацияси n_0 ни топинг. Больцман доимийси $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Ж/К га тенг.

Жавоб: $n_0 = \frac{p}{kT} = 2 \cdot 10^{25}$ м⁻³.

22.9. Босими $p = 6 \cdot 10^4$ Па ва концентрацияси $n_0 = 3 \cdot 10^{25}$ м⁻³ бўлган бир атомли ($i = 3$) газ молекулалари иссиқлик ҳаракатининг ўртача кинетик энергияси $W_{\text{кин}}$ ни топинг.

Жавоб: $W_{\text{кин}} = \frac{i}{2} kT = \frac{i}{2} k \frac{p}{kn_0} = \frac{i}{2} \cdot \frac{p}{n_0} = 3 \cdot 10^{-21}$ Ж.

22.10. Газни қиздирилганда молекулаларининг концентрацияси 2 марта ($\frac{n_{02}}{n_{01}} = 2$), ўртача кинетик энергияси 3 марта ($\frac{W_{\text{кин}_2}}{W_{\text{кин}_1}} = 3$) ортган бўлса, унинг босимининг ўзгариши $\frac{p_2}{p_1}$ ни топинг.

Жавоб: $\frac{p_2}{p_1} = \frac{n_{02} \cdot kT_2}{n_{01} \cdot kT_1} = \left(\frac{n_{02}}{n_{01}}\right) \cdot \left(\frac{W_{\text{кин}_2}}{W_{\text{кин}_1}}\right) = 6$ марта.

23-§. БОЙЛЬ — МАРИОТТ ҚОНУНИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Ҳавза тагидан ҳаво пуфакчалари кўтарилаётганда уларнинг ҳажмлари катталашади. Агар ҳавза тубидан қалқиб чиққан газ пуфакчаларининг ҳажми уч марта катталашган ($V_1 = 3V_2$) бўлса, ҳавзанинг чуқурлиги h ни топинг. Атмосфера босими $p_1 = 750$ мм сим. уст. га, сувнинг зичлиги $\rho = 1 \cdot 10^3$ кг/м³ га тенг деб олинг.

Берилган: $p_1 = 750$ мм сим. уст. = 133·750 Па; $V_1 = 3V_2$;
 $\rho = 1 \cdot 10^3$ кг/м³.

Топиш керак: $h = ?$

Ечилиши. Ҳавза тубидаги ҳаво пуфакчаларининг босими p_2 атмосфера босими p_1 билан h баландликдаги сув устуни босими $p = \rho gh$ нинг йиғиндисига тенг, яъни

$$p_2 = p_1 + \rho gh.$$

Бойль—Мариотт қонунига кўра

$$p_1 V_1 = p_2 V_2.$$

V_1 ва p_2 нинг ифодалари бу ерда қўйилса:

$$p_1 3V_1 = (p_1 + \rho gh) \cdot V_2 \text{ ёки } \rho gh = 2p_1.$$

Бундан изланаётган сув устунининг баландлиги (яъни ҳавзанинги чуқурлиги) h ни топамиз:

$$h = \frac{2p_1}{\rho g} = \frac{2 \cdot 133 \cdot 750 \text{ Па}}{1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2} \approx \frac{2 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2}{9,8 \cdot 10 \text{ Н/м}^3} = 20,4 \text{ м.}$$

Жавоб: $h = 20,4 \text{ м.}$

2- масала. Ҳажми $V_2 = 2,8 \text{ л}$ бўлган футбол тўпига поршенли насосда $p_2 = 1,8 \cdot 10^5 \text{ Па}$ босимгача ҳаво пуфланган. Агар насос ҳар бир тортишида $V_0 = 200 \text{ см}^3$ ҳавони сўрса, тортишни неча (n) марта такрорлаш керак? Тўпда пуфланмасдан олдин ҳаво бўлмаган. Атмосфера босими $p_1 = 1 \cdot 10^5 \text{ Па}$ га тенг ва ҳарорат ўзгармас деб ҳисобланг.

Берилган: $V_2 = 2,8 \text{ л} = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; $V_0 = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$;
 $p_1 = 1 \cdot 10^5 \text{ Па}$; $p_2 = 1,8 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

Топиш керак: $n = ?$

Ечилиши. Футбол тўпини пуфлаш учун n марта тортиш такрорланган бўлсин. У ҳолда p_1 атмосфера босимида тўп камерасига жойлашадиган ҳавонинг эркин ҳажми $V_1 = n V_0$ бўлади. Бу ҳавони камерага киритилганда, у V_2 ҳажмни эгаллайди ва босими p_2 бўлиб қолади. Бойль—Мариотт қонунига биноан қуйидагини ёзамиз:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 \text{ ёки } p_1 n V_0 = p_2 V_2.$$

бундан изланаётган n катталиқ:

$$n = \frac{p_2 V_2}{p_1 V_0} = \frac{1,8 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3}{1 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3} = 1,8 \cdot 14 = 25,2 \approx 25.$$

Жавоб: $n = 25$ марта.



5.1- расм

3- масала. Ҳавоси қисман сўриб олиниб икки учи кавшарланган узунлиги $L = 1 \text{ м}$ бўлган горизонтал ҳолатдаги найнинг ўртасида $h = 20 \text{ см}$ узунликдаги симоб устуни бор. Най вертикал ҳолатда бўлганда унинг ичидаги симоб устуни $l = 10 \text{ см}$ пастга силжиган (5.1- расм). Горизон-

тал ҳолатда бўлган найдаги ҳавонинг босими p_1 топилсин. Симобнинг зичлиги $\rho = 13600 \text{ кг/м}^3$ га тенг.

Берилган: $L = 1 \text{ м}$; $h = 20 \text{ см} = 0,2 \text{ м}$; $l = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$;
 $\rho = 13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Топиш керак: $p_1 = ?$

Ечилиши. Горизонтал ҳолатда бўлган найнинг ҳар иккала учидаги ҳавонинг ҳажми $V_1 = \frac{L-h}{2} \cdot S$ (бунда S — найнинг кўндаланг кесим юзи), босими эса p_1 бўлсин. Вертикал ҳолатдаги найнинг юқори ва паст қисмларидаги ҳавонинг ҳажмлари $V_2 = \left(\frac{L-h}{2} + l\right) \cdot S$ ва $V_3 = \left(\frac{L-h}{2} - l\right) \cdot S$, босимлари эса мос равишда p_2 ва p_3 бўлсин. Бойль—Мариотт қонунига биноан найнинг юқори қисми учун $p_1 V_1 = p_2 V_2$ бўлиб, V_1 ва V_2 нинг ифодалари ўрнига қўйилса:

$$(L-h)p_1 = (L-h+2l)p_2 \quad (1)$$

бўлади. Найнинг пастки қисми учун $p_1 V_1 = p_3 V_3$ бўлиб яна V_1 ва V_3 нинг ифодалари ўрнига қўйилса, қуйидаги ҳосил бўлади:

$$(L-h)p_1 = (L-h-2l)p_3. \quad (2)$$

Найнинг пастки қисмидаги ҳавонинг босими эса унинг юқори қисмидаги ҳавонинг босими билан симоб устунининг босими йиғиндисига тенг бўлганда симоб устуни мувозанатла бўлади, яъни:

$$p_3 = p_2 + \rho gh, \quad (3)$$

(1), (2) ва (3) тенгламалардан қуйидагини топамиз:

$$p_1 = \frac{\rho gh[(L-h)^2 - 4l^2]}{4(L-h)} = \frac{13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 0,2 \text{ м} [(1-0,2)^2 - 4 \cdot 0,1^2] \text{ м}^2}{4 \cdot 0,1 \text{ м} (1-0,2) \text{ м}} = 5 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2 = 50 \cdot 10^3 \text{ Па} = 50 \text{ кПа}.$$

Жавоб: $p_1 = 50 \text{ кПа}$.

Мустақил ечиш учун масалалар

23.1. Ҳавонинг босими $p_1 = 720 \text{ мм. сим. уст. га}$ тенг. Агар босим $p_2 = 2 \cdot 10^5 \text{ Па}$ га етса, ҳаво ҳажми V_1 нинг нисбий ўзгариши $\Delta V/V_1$ нимага тенг бўлади?

Жавоб: $\frac{\Delta V}{V} = \frac{p_2 - p_1}{p_2} = 0,525$.

23.2. Ҳажми $V_1 = 5 \text{ л}$ бўлган ҳаволи идиш $V_2 = 4,5 \text{ л}$ ҳажмли бўш идиш билан нормал босими ($p_0 \approx 1 \cdot 10^5 \text{ Па}$) остида туташтирилганда идишларда юзага келадиган умумий босими p ни топинг.

Жавоб: $p = p_1 \frac{V_1}{V_1 + V_2} = 53 \text{ кПа}$.

23.3. Ҳажми $V_1=400$ л бўлган баллонда $p_1=2$ МПа босим остида газ бор. Босим $p_2=1$ МПа гача камайган бўлса, баллондан чиқариб юборилган газнинг массаси Δm ни топинг. Нормал шароит ($p_0=1 \cdot 10^5$ Па, $T_0=273$ К) да газнинг зичлиги $\rho_0=0,6$ кг/м³ га тенг. Жараёни изотермик деб ҳисобланг.

$$\text{Жавоб: } \Delta m = \rho_0 \Delta V = \rho_0 V_1 \frac{p_1}{p_0} \left(\frac{p_1}{p_2} - 1 \right) = 2,4 \text{ кг.}$$

23.4. Берк идишда $p_1=500$ кПа босим остида газ бор. Агар жўмрак очилгандан кейин газнинг $n=4,5$ қисм массаси чиқиб кетса, идишда қолган вазнининг босими p_2 қандай бўлиб қолади?

$$\text{Жавоб: } p_2 = p_1(1 - n) = 100 \text{ Па.}$$

23.5. Нормал шароитда газ $V_0=1$ м³ ҳажмни эгаллайди. Шу газнинг босими ўзгармас $p_1=4,9$ МПа тенг булган ҳолдаги V_1 ҳажмни топинг.

$$\text{Жавоб: } V_1 = V_0 \frac{p_1}{p_0} \approx 0,2 \text{ м}^3.$$

23.6. Газ бошланғич $V_1=6$ л ҳажмдан $V_2=4$ л ҳажмгача сиқилганда босим $\Delta p=2 \cdot 10^5$ Па га ортган бўлса, бошланғич босим p_1 ни топинг.

$$\text{Жавоб: } p = \Delta p \frac{V_2}{V_1 - V_2} = 4 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

23.7. Ҳажми $V=40$ л бўлган бўш баллонга дам бериш керак. Агар компрессор ҳам $\Delta \tau=1$ мин да $\Delta V=5$ м³ атмосфера ҳавосини сўрса, баллондаги ҳаво босимини $p=1,5$ МПа гача етказиш учун унга қанча τ вақтгача дам бериш керак? Атмосфера босими $p_0=1 \cdot 10^5$ Па га тенг.

$$\text{Жавоб: } \tau = \Delta \tau \frac{V}{\Delta V} \frac{p_0}{p} = 7,2 \text{ с.}$$

23.8. Агар $t_0=0^\circ\text{C}$ да „Волга“ автомобили шинасининг камерасидаги ҳаво $p=0,17$ МПа босим остида бўлса, шу ҳавонинг зичлиги ρ ни топинг. Нормал шароитда, яъни ($p_0=1$ атм $=10^5$ Па ва $t_0=0^\circ\text{C}$) да ҳавонинг зичлиги $\rho_0=1,29$ кг/м³ га тенг.

$$\text{Жавоб: } \rho = \rho_0 \frac{p}{p_0} \approx 3,5 \text{ кг/м}^3.$$

23.9. Цилиндрнинг поршени остида газ бор. Поршеннинг оғирлиги $P=6$ Н, тубининг юзи $S=20$ см², атмосфера босими эса $p_0=750$ мм сим. уст. га тенг. Цилиндрдаги газнинг ҳажмини икки марта камайтириш ($V_1/V_2=2$) учун, поршенга қандай қўшимча F куч таъсир этиши керак? Жараёни изотермик деб ҳисобланг.

$$\text{Жавоб: } F = \left(\frac{V_1}{V_2} - 1 \right) (p + p_0 S) = 206 \text{ Н.}$$

23.10. Аэростат қобиғи газ билан охиригача тўлдирилмайди. Аэростат кўтарилгани сари атмосфера босими камая боради ва қобиқ кенгая боради. Агар аэростат қобиғи $V_0 = 500 \text{ м}^3$ гелий билан $p_0 = 10^5 \text{ Па}$ босимда тўлдирилган бўлса, қандай h баландликка кўтарилгандан кейин газ қобиғининг ҳажми $V = 600 \text{ м}^3$ га тенг бўлиб қолади? Ҳар $\Delta h = 11 \text{ м}$ га кўтарилганда атмосфера босими $\Delta p = 133 \text{ Па}$ га камаяди. Ҳарорати баландликка боғлиқ эмас (ўзгармас) деб ҳисобланг.

Жавоб: $h = \Delta h \cdot \frac{p_0}{\Delta p} \cdot \frac{V - V_0}{V} = 1,378 \text{ км.}$

24-§. ГЕЙ-ЛЮССАК ҚОНУНИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Пастки қисми берк бўлган вертикал найда $h_1 = 30 \text{ см}$ баландликдаги симоб устуни билан қамалган ҳаво бор: ҳарорат $t_1 = 27^\circ\text{C}$ дан $t_2 = -23^\circ\text{C}$ гача ўзгарганда симоб устуни қанча Δh пастга тушади?

Берилган: $h_1 = 30 \text{ см} = 0,3 \text{ м}$; $T_1 = (273 + 27) \text{ К} = 300 \text{ К}$;
 $T_2 = (273 - 23) \text{ К} = 250 \text{ К}.$

Топиш керак: $\Delta h = ?$

Ечилиши. Агар найдаги ҳаво устунининг l_1 ҳароратдаги ҳажми V_1 , T_2 ҳароратдагиси эса V_2 бўлса, Гей-Люссак қонунига кўра қуйидаги муносабатни ёзиш мумкин:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

бунда $V_1 = Sh_1$ ва $V_2 = Sh_2$ (S —найнинг кундаланг кесим юзи) бўлганлигидан $Sh_1/T_1 = Sh_2/T_2$ ва $h_2 = h_1 \frac{T_2}{T_1}$ бўлади. Бундан найдаги симоб устунининг пастга тушиши қуйидагига тенг бўлади:

$$\begin{aligned} \Delta h &= h_1 - h_2 = h_1 - h_1 \frac{T_2}{T_1} = h_1 \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) = h_1 \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \\ &= 0,3 \text{ м} \frac{300 \text{ К} - 250 \text{ К}}{300 \text{ К}} = 0,05 \text{ м} = 5 \text{ см.} \end{aligned}$$

Жавоб: Ҳаво совигандан кейин найдаги симоб устуни $\Delta h = 5 \text{ см}$ пастга тушар экан.

2-масала. Газни ўзгармас босим ($p = \text{const}$) да $\Delta T = 20 \text{ К}$ га иситилганда унинг ҳажми бошланғич ҳажмининг $\Delta V/V = 1/20$ қисмига кенгайган бўлса, газнинг бошланғич ҳарорати T_1 топилсин.

Берилган: $\Delta T = 20 \text{ К}$; $\Delta V/V = 1/20.$

Топиш керак: $T_1 = ?$

Ечилиши. Гей-Люссак қонунига кўра ўзгармас босим ($p =$

$= \text{const}$) да газ ҳажмининг абсолют ҳароратга бўлган нисбати доимий қолади:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2},$$

бунда $V_2 = V_1 + \Delta V = V_1 \left(1 + \frac{\Delta V}{V_1}\right)$ ва $T_2 = T_1 + \Delta T = T_1 \left(1 + \frac{\Delta T}{T_1}\right)$. V_2 ва T_2 нинг бу ифодаларини юқоридаги ўрнига қўйилса:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_1 \cdot (1 + \Delta V/V_1)}{T_1 \cdot (1 + \Delta T/T_1)} \text{ ёки } 1 + \frac{\Delta T}{T_1} = 1 + \frac{\Delta V}{V_1}$$

бундан изланаётган T_1 ҳарорат қуйидагига тенг бўлади:

$$T_1 = \Delta T \frac{V_1}{\Delta V} = \frac{\Delta T}{\Delta V/V_1} = \frac{20 \text{ K}}{1/20} = 400 \text{ K}.$$

Жавоб: $T_1 = 400 \text{ K}$.

3- масала. Нормал шароит ($T_0 = 273 \text{ K}$, $p_0 = 1 \text{ атм}$) да ҳажми $V = 60 \text{ м}^3$ бўлган хонадаги ҳавонинг ҳарорати ўзгармас босимда $T_1 = 280 \text{ K}$ дан $T_2 = 300 \text{ K}$ гача кўтарилганда хонадан чиқиб кетган ҳавонинг массаси Δm топилсин. Нормал шароитда ҳавонинг зичлиги $\rho_0 = 1,29 \text{ кг/м}^3$ га тенг.

Берилган: $V = 60 \text{ м}^3$; $T_1 = 280 \text{ K}$; $T_2 = 300 \text{ K}$; $T_0 = 273 \text{ K}$;
 $\rho_0 = 1,29 \text{ кг/м}^3$.

Топиш керак. $\Delta m = ?$

Ечилиши. T_1 ва T_2 ҳароратдаги хонанинг ҳажми V га мос келган ҳароратдаги ҳавонинг V'_1 ва V'_2 ҳажмлари Гей-Люссак қонунига биноан қуйидагига тенг бўлади:

$$V'_1 = V \frac{T_0}{T_1} \text{ ва } V'_2 = V \frac{T_0}{T_2}. \quad (1)$$

Бу тенгламадан хонадан чиқиб кетган ҳавонинг ҳажми ΔV қуйидагига тенг бўлади:

$$\Delta V = V'_1 - V'_2 = V \frac{T_0}{T_1} - V \frac{T_0}{T_2} = V \frac{T_0(T_2 - T_1)}{T_1 \cdot T_2}. \quad (2)$$

Ҳавонинг нормал шароитдаги ΔV ҳажмига мос келган Δm массаси:

$$\Delta m = \rho_0 \Delta V = \rho_0 V \frac{T_0(T_2 - T_1)}{T_1 \cdot T_2}. \quad (3)$$

Масалада берилган сон қийматлар ўрнига қўйилиб ҳисобланса:

$$\Delta m = \rho_0 V \frac{T_0(T_2 - T_1)}{T_1 \cdot T_2} = 1,29 \text{ кг/м}^3 \cdot 60 \text{ м}^3 \frac{273 \text{ K} (300 \text{ K} - 280 \text{ K})}{280 \text{ K} \cdot 300 \text{ K}} = 5 \text{ кг}$$

Жавоб: $\Delta m = 5 \text{ кг}$.

Мустақил ечиш учун масалалар

24.1. Цилиндрда поршень остидаги $V_1 = 10$ л ҳажмли газнинг ҳарорати $T_1 = 327$ К дан $T_2 = 273$ К гача изобарик равишда совирилса, унинг V_2 ҳажми қандай бўлади?

Жавоб: $V_2 = V_1 \cdot \frac{T_2}{T_1} = 8,35 \cdot 10^{-3}$ м³.

24.2. Вентилиция камераси орқали ташқаридан метрополитен туннелига юборилган ҳаво $t_1 = -20^\circ\text{C}$ дан $t_2 = +30^\circ\text{C}$ гача иситилса, ҳаво ҳажмининг неча марта ўзгариши V_2/V_1 ни топинг.

Жавоб: $\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} = 1,2$ марта.

24.3. Агар ҳаво $\Delta T = 30$ К га қиздирилганда унинг ҳажми дастлабки ҳажмининг $\Delta V/V = 10\%$ га ортса, ҳавонинг бошланғич T_1 ва охириги T_2 ҳароратларини топинг.

Жавоб: $T_1 = \frac{\Delta T}{\Delta V/V} = 300$ К; $T_2 = \Delta T \left(\frac{1}{\Delta V/V} + 1 \right) = 330$ К.

24.4. Очиқ колбадаги $t_1 = 22^\circ\text{C}$ ҳароратли ҳавонинг зичлигини 2 марта камайтириш ($\rho_1/\rho_2 = 2$) учун ҳавони қандай T_2 ҳароратгача иситиш керак?

Жавоб: $T_2 = T_1 \frac{\rho_1}{\rho_2} = 590$ К.

24.5. Ҳажми $V_1 = 250$ см³ бўлган очиқ шиша колба $t = 127^\circ\text{C}$ ҳароратгача қиздирилиб, унинг очиқ бўғзи $t_2 = 7^\circ\text{C}$ ҳароратли сувга ботирилганда колбага кирган сувнинг массаси Δm ни топинг. Атмосфера босими нормал ва колбанинг ҳажми ўзгармас деб ҳисобланг. Сувнинг $t_2 = 7^\circ\text{C}$ ҳароратдаги зичлигини $\rho_2 = 1000$ кг/м³ га тенг деб олинг.

Жавоб: $\Delta m = \rho_2 V_1 \left(1 - \frac{T_1}{T_2} \right) = 0,075$ кг = 75 г.

24.6. Ҳажми $V_1 = 1000$ м³ бўлган ҳаво шари $T_1 = 293$ К ҳароратли водород билан тўлдирилди. Агар босимни ўзгартирмаган ҳолда ҳарорати $T_2 = 313$ К гача орттирилса, шардан чиқиб кетадиган водороднинг ҳажми ΔV ни топинг.

Жавоб: $\Delta V = V_1 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right) = 68$ м³.

24.7. Ҳажми $V = 500$ см³ бўлган берк горизонтал цилиндрдаги газни эркин қўзғалувчан поршень билан массалари бир хил бўлган икки қисмга бўлинган. Поршеннинг бир томонида $t_1 = -73^\circ\text{C}$, иккинчи томонида эса $t_2 = 27^\circ\text{C}$ ҳароратли газлар бўлган. Агар поршень мувозанатда бўлса, V_1 ва V_2 ҳажмларини топинг.

Жавоб: $V_1 = V \frac{T_1}{T_1 + T_2} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$; $V_2 = V \frac{T_2}{T_1 + T_2} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$.

24.8. $m = 12 \text{ г}$ массали газнинг $t = 177^\circ\text{C}$ ҳароратдаги ҳажми $V = 4 \text{ л}$. Агар босим ўзгармас бўлса, газнинг зичлиги қандай T_2 ҳароратда $\rho_2 = 6 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$ га тенг бўлади?

Жавоб: $T_2 = T_1 \frac{m}{\rho_2 V_1} = 225 \text{ К}$.

24.9. Газ $t_1 = 27^\circ\text{C}$ дан $t_2 = 39^\circ\text{C}$ ҳароратгача иситилган. Агар босим ўзгармас бўлса, газ ҳажмининг неча процентга ортиши $\Delta V/V$ ни топинг.

Жавоб: $\frac{\Delta V}{V} = \frac{T_2 - T_1}{T_1} = 0,04 = 4\%$.

25-§. ШАРЛЬ ҚОНУНИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Электр лампаларини тайёрлашда уларга $t_1 = 150^\circ\text{C}$ ҳароратли инерт газ тўлдирилади. Лампа ёнганда юзага келадиган $t_2 = 300^\circ\text{C}$ ҳароратда босим $p_2 = 0,1 \text{ МПа}$ дан ортиб кетмаслиги учун лампаларга газни қандай p_1 босимда тўлдириш керак?

Берилган: $T_1 = (273 + 150) \text{ К} = 423 \text{ К}$; $T_2 = (273 + 300) \text{ К} = 573 \text{ К}$; $p_2 = 0,1 \text{ МПа} = 1 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

Топиш керак: $p_1 = ?$

Ечилиши. Электр лампанинг ҳажми ўзгармас бўлганлиги учун ундаги газ босимининг ҳароратга боғлиқ равишда ўзгариши Шарль қонунини қаноатлантиради, яъни:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

Бундан изланаётган p_1 босим қуйидагига тенг бўлади:

$$p_1 = p_2 \frac{T_1}{T_2} = 1 \cdot 10^5 \text{ Па} \frac{423 \text{ К}}{573 \text{ К}} = 74 \cdot 10^3 \text{ Па} = 74 \text{ кПа}.$$

Жавоб: $p_1 = 74 \text{ кПа}$ бўлиши керак.

2-масала. Газни ўзгармас ҳажм ($V = \text{const}$) да $\Delta T = 30 \text{ К}$ га иситилганда унинг босими уч марта ортган ($p_2/p_1 = 3$) бўлса, газнинг бошланғич T_1 ва охириги T_2 ҳароратлари топилсин.

Берилган: $\Delta T = 30 \text{ К}$; $p_2/p_1 = 3$.

Топиш керак: $T_1 = ?$, $T_2 = ?$

Ечилиши. Шарль қонунига биноан:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

бунда $T_2 = T_1 + \Delta T = T_1 \left(1 + \frac{\Delta T}{T_1}\right)$ бўлганлиги учун $\frac{p_2}{T_1} =$
 $\frac{p_2}{T_1 \left(1 + \frac{\Delta T}{T_1}\right)}$ бўлиб, бундан газнинг бошланғич ҳарорати қу-

йдагига тенг бўлади:

$$T_1 = \frac{\Delta T}{p_2/p_1 - 1} = \frac{30 \text{ К}}{3 - 1} = 15 \text{ К.}$$

Бундан газнинг охириги ҳарорати T_2 ни осонгина аниқлаш мумкин:

$$T_2 = T_1 + \Delta T = 15 \text{ К} + 30 \text{ К} = 45 \text{ К.}$$

Жавоб: $T_1 = 15 \text{ К}; T_2 = 45 \text{ К.}$

3-масала. Газ тўлдирилган баллонга уланган манометр $t = 17^\circ\text{C}$ ҳароратли хонада $p = 240$ кПа босимни кўрсатади. Баллон ташқарига олиб чиқилганда манометрнинг кўрсатиши $\Delta p = 40$ кПа га камайган. Агар атмосфера босими $p_0 = 100$ кПа бўлса, ташқаридаги ҳавонинг ҳарорати T_2 топилсин.

Берилган: $T_1 = (273 + 17) \text{ К} = 290 \text{ К}; p = 24 \cdot 10^4 \text{ Па};$
 $\Delta p = 4 \cdot 10^4 \text{ Па}; p_0 = 10 \cdot 10^4 \text{ Па.}$

Топиш керак: $T_2 = ?$

Ечилиши. Одатда манометрлар баллон ичидаги босим билан атмосфера босими орасидаги фарқни кўрсатадиган қилиб даражаланади. Шунинг учун баллон хонада турганда ундаги босим $p_1 = p + p_0$ га ва ташқарида бўлганда $p_2 = p + p_0 - \Delta p$ га тенг бўлади. Газ ҳажми доимий бўлганлиги сабабли Шарль қонунига биноан қуйидагини ёзиш мумкин:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

Бунда p_1 ва p_2 ларнинг ифодаларини қўйсақ, изланаётган T_2 қуйидагига тенг бўлади:

$$T_2 = T_1 \frac{p_2}{p_1} = T_1 \frac{p + p_0 - \Delta p}{p + p_0} =$$

$$= 290 \text{ К} \frac{24 \cdot 10^4 \text{ Па} + 10 \cdot 10^4 \text{ Па} - 4 \cdot 10^4 \text{ Па}}{24 \cdot 10^4 \text{ Па} + 10 \cdot 10^4 \text{ Па}} = 256 \text{ К.}$$

Жавоб: $T_2 = 256 \text{ К}; t_2 = -17^\circ\text{C.}$

Мустақил ечиш учун масалалар

25 1. Агар электр лампочка ёнгандан кейин ундаги газнинг ҳарорати $t_1 = 27^\circ\text{C}$ дан $t_2 = 327^\circ\text{C}$ гача кўтарилган бўлса, босимнинг неча марта ортиши p_2/p_1 топилсин.

Жавоб: $\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1} = 2$ марта.

25.2. Газ $t_1 = 12^\circ\text{C}$ ҳароратда $p_1 = 1,5 \cdot 10^5$ Па босим остида бўлган. Агар шу газ ўзгармас ҳажмда $t_2 = 42^\circ\text{C}$ ҳароратгача иситилса, унинг босими p_2 қандай бўлади?

Жавоб: $p_2 = p_1 \frac{T_2}{T_1} = 166 \text{ кПа}$

25.3. $t_1 = 27^\circ\text{C}$ ҳароратда ёпиқ идишдаги газнинг босими $p_1 = 90 \text{ кПа}$ бўлса, $t_2 = -23^\circ\text{C}$ ҳароратда бу босим қанча Δp га ўзгаради?

Жавоб: $\Delta p = p_1 \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) = 15 \cdot 10^3 \text{ Па} = 15 \text{ кПа}$.

25.4. Резина қайиққа эрта тонгда ҳавонинг ҳарорати $t_1 = 7^\circ\text{C}$ бўлганда дам берилди. Агар кундузи қуёш нурлари таъсирида резина $t_3 = 35^\circ\text{C}$ ҳароратгача қизиса, ундаги ҳаво босими неча процентга ортиши $\Delta p/p_1$ ни топинг.

Жавоб. $\frac{\Delta p}{p_1} = \frac{\Delta T}{T_1} = \frac{T_3 - T_1}{T_1} = 0,1 = 10\%$.

25.5. Ўзгармас ҳажмда газни $\Delta T = 25 \text{ К}$ га иситилганда унинг босими 5% га ортган ($\Delta p/p_1 = 5\%$) бўлса, газнинг бошланғич T_1 ва охириги T_2 ҳароратларини топинг.

Жавоб: $T_1 = \frac{\Delta T}{\Delta p/p_1} = 500 \text{ К}$; $T_2 = \Delta T \left(1 + \frac{1}{\Delta p/p_1}\right) = 525 \text{ К}$.

25.6. $t_1 = -13^\circ\text{C}$ ҳароратда автомобиль камерасидаги ҳавонинг босими $p = 160 \text{ кПа}$ бўлган. Агар автомобиль узоқ вақт ҳаракатланиши натижасида камерадаги ҳаво $t_2 = 37^\circ\text{C}$ ҳароратгача қизиган бўлса, камерада қарор топган p_2 босимни топинг. Атмосфера босимини $p_0 = 1 \text{ атм.} = 1 \cdot 10^5 \text{ Па}$ деб олинг.

Жавоб: $p_2 = (p + p_0) \frac{T_2}{T_1} = 310 \text{ кПа}$.

25.7. Берк идишдаги газни $\Delta L = 140 \text{ К}$ га қиздирилганда босим $p_2/p_1 = 1,5$ марта ортган. Идишдаги дастлабки ҳарорат T_1 ни топинг.

Жавоб: $T_1 = \frac{\Delta T}{p_2/p_1 - 1} = 280 \text{ К}$.

25.8. $t_1 = 50^\circ\text{C}$ ҳароратда $p_1 = 1,65 \cdot 10^7$ Па босим остида бўлган баллондаги газни $t_2 = 20^\circ\text{C}$ ҳароратгача совигандан кейинги босими p_2 ни топинг.

Жавоб: $p_2 = p_1 \frac{T_2}{T_1} = 15 \text{ МПа}$.

25.9. Газ тўлдирилган баллон бўйни кесимининг юзи $S = 2,5 \text{ см}^2$ бўлиб, у оғирлиги $P = 12 \text{ Н}$ бўлган клапан билан беркитилган. Баллондаги ҳавонинг бошланғич босими ва ташқи босим бир хил бўлиб, $p_0 = 1 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ҳарорат эса $t_1 = -3^\circ\text{C}$

га тенг. Баллондаги ҳаво клапани очиб чиқиши учун уни қандай T_2 ҳароратгача қиздириш керак?

$$\text{Жавоб: } T_2 = T_1 \frac{p_0 + P/S}{p_0} = 400 \text{ К.}$$

25.10. Цилиндр поршени остидаги ҳавонинг босими $p_1 = 2 \cdot 10^5$ Па, ҳарорати $t_1 = 27^\circ\text{C}$. Ҳавони $t_2 = 50^\circ\text{C}$ ҳароратгача қиздирилгандан кейин цилиндрдаги ҳавонинг ҳажми бошланғич ҳажмга тенг бўлиши учун поршенга оғирлиги P қандай бўлган юк қўйилиши керак? Поршеннинг кесим юзини $S = 30 \text{ см}^2$ деб олинг.

$$\text{Жавоб: } P = p_1 \cdot S \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right) = 46 \text{ Н.}$$

26-§. КЛАПЕЙРОН ТЕНГЛАМАСИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Баллондаги газнинг ҳарорати $t_1 = 27^\circ\text{C}$, босими $p_1 = 4 \cdot 10^5$ Па баллондан газ массасининг ярми чиқариб ($V_0 = 2V_0$) юборилиб, ҳарорати $t_2 = 12^\circ\text{C}$ гача пасайса, босим p_2 қандай бўлади?

Берилган: $p_1 = 4 \cdot 10^5$ Па; $T_1 = (273 + 27) \text{ К} = 300 \text{ К}$;

$$T_2 = (273 + 12) \text{ К} = 285 \text{ К}; V_0 = 2V_0.$$

Топиш керак: $p_2 = ?$

Ечилиши. T_1 ва T_2 ҳароратдаги баллоннинг ҳажмига мос келган нормал шароит ($T_0 = 273 \text{ К}$ ва $p_0 = 1 \cdot 10^5$ Па) даги газнинг ҳажмларини V_0^* ва V_0 билан белгилаймиз. У ҳолда бутун газ массаси учун ҳолат тенгламаси:

$$\frac{p_1 V}{T_1} = \frac{p_0 \cdot V_0^*}{T_0}$$

газнинг қолган массаси учун эса ҳолат тенгламаси:

$$\frac{p_2 V}{T_2} = \frac{p_0 V_0^*}{T_0}$$

Масаланинг шартига кўра $V_0^* = 2V_0$ эканлиги ҳисобга олинса (чунки нормал шароитда газнинг ҳажми унинг массасига пропорционал бўлади), қуйидаги тенглама келиб чиқади:

$$\frac{p_1 V}{T_1} = 2 \frac{p_2 V}{T_2}$$

Бундан изланаётган p_2 босим:

$$p_2 = p_1 \frac{T_2}{2T_1} = 4 \cdot 10^5 \text{ Па} \frac{285 \text{ К}}{2 \cdot 300 \text{ К}} = \frac{2 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 285}{300} = 1,9 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Жавоб: $p_2 = 1,9 \cdot 10^5$ Па.

2-масала Ҳажми $V_1 = 10$ л бўлган баллондаги кислороднинг ҳарорати $t = -13^\circ\text{C}$ ва босими $p = 9\text{МПа}$ бўлса, кислороднинг массаси m топилин. Нормал шароитда кислороднинг зичлиги $\rho_0 = 1,429\text{ кг/м}^3$.

Берилган: $T_1 = (273 - 13)\text{ К} = 260\text{ К}$; $V_1 = 10\text{ л} = 10 \cdot 10^{-3}\text{ м}^3$;
 $p_1 = 9\text{ МПа} = 90 \cdot 10^5\text{ Па}$; $T_0 = 273\text{ К}$; $p_0 = 1 \cdot 10^5\text{ Па}$;
 $\rho_0 = 1,429\text{ кг/м}^3$.

Топиш керак: $m = ?$

Ечилиши. Баллондаги газнинг массаси m ни топиш учун унинг нормал шароитдаги ($T_0 = 273\text{ К}$ ва $p_0 = 1 \cdot 10^5\text{ Па}$ босимдаги) ҳажми V_0 ни билиш зарур. Газнинг ҳолат тенгламаси

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_0 \cdot V_0}{T_0}$$

дан фойдаланиб, нормал шароитдаги газнинг ҳажми V_0 ни топамиз:

$$V_0 = V_1 \frac{p_1 \cdot T_0}{p_0 \cdot T_1}$$

V_0 ни билган ҳолда, газнинг массаси m ни аниқлаш мумкин:

$$m = \rho_0 V_0 = \rho_0 V_1 \frac{p_1 \cdot T_0}{p_0 \cdot T_1} = 1,429 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10 \cdot 10^{-3}\text{ м}^3 \times \\ \times \frac{90 \cdot 10^5\text{ Па} \cdot 273\text{ К}}{1 \cdot 10^5\text{ Па} \cdot 260\text{ К}} = 135 \cdot 10^{-3}\text{ кг} = 135\text{ г}.$$

Жавоб: $m = 135\text{ г}$.

3-масала. Сув ости кемасининг ҳажми $V_1 = 40$ л бўлган цистернада $p_1 = 15\text{ МПа}$ босим остида сиқилган $t_1 = 27^\circ\text{C}$ ҳароратли ҳаво бор. Шу цистернадан қанча V ҳажмли сувни сиқиб чиқариш мумкин? Кема $h = 20\text{ м}$ чуқурликда турибди, бу ерда ҳарорат $t_2 = 7^\circ\text{C}$ га тенг. Сувнинг зичлиги $\rho = 1 \cdot 10^3\text{ кг/м}^3$, атмосфера босими эса $p_0 = 100\text{ кПа}$.

Берилган: $V_1 = 40\text{ л} = 4 \cdot 10^{-2}\text{ м}^3$; $p_1 = 15\text{ МПа} = 15 \cdot 10^6\text{ Па}$;
 $h = 20\text{ м}$; $T_1 = (273 + 27)\text{ К} = 300\text{ К}$; $T_2 = (273 + 7)\text{ К} = 280\text{ К}$;
 $\rho = 1 \cdot 10^3\text{ кг/м}^3$; $p_0 = 100\text{ кПа} = 1 \cdot 10^5\text{ Па}$.

Топиш керак: $V = ?$

Ечилиши. Цистернадаги сувни сиқиб чиқариш учун ҳавонинг босими камида шу чуқурликдаги сувнинг босимига тенг бўлиши керак: $p_2 = p_0 + \rho gh$. Кенгайгандан кейин ҳаво $V_2 = V + V_1$ ҳажми олади. Клапейрон тенгламасига кўра

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \quad \text{ёки} \quad \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{(p_0 + \rho gh)(V + V_1)}{T_2}$$

Бундан сув сиқиб чиқариши мумкин бўлган V ҳажм:

$$V = \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot T_2}{(p_1 + \rho gh) \cdot T_1} - V_1 = V_1 \left[\frac{p_0 \cdot T_2}{(p_0 + \rho gh) \cdot T_1} - 1 \right] =$$

$$= 4 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3 \left[\frac{15 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 280 \text{ К}}{1 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 1 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 20 \text{ м} / 200 \text{ К}} - 1 \right] = 1,85 \text{ м}^3.$$

Жавоб: $V = 1,85 \text{ м}^3$.

Муствақил ечиш учун масалалар

26.1. Баллонда $p = 1,5 \text{ МПа}$ босим остида $t = 37^\circ\text{C}$ ҳароратли $V = 40 \text{ л}$ газ бор. Нормал шароит ($T_0 = 273 \text{ К}$ ва $p_0 = 1 \cdot 10^5 \text{ Па}$) да шу газнинг ҳажми V_0 қандай бўлади?

Жавоб: $V_0 = V \frac{p \cdot T_0}{p_0 \cdot T} = 0,528 \text{ м}^3 = 528 \text{ л}$.

26.2. Нормал шароит ($T_0 = 273 \text{ К}$ ва $p_0 = 1 \cdot 10^5 \text{ Па}$) даги $V_0 = 9,5 \text{ л}$ ҳажмли газни $t = 15^\circ\text{C}$ ҳароратгача иситилганда унинг ҳажми $V = 4,0 \text{ л}$ бўлиши учун босими p қандай бўлиши керак?

Жавоб: $p = p_0 \frac{V_0 \cdot T}{V \cdot T_0} = 2,5 \cdot 10^5 \text{ Па} = 250 \text{ кПа}$.

26.3. $t_1 = 15^\circ\text{C}$ ҳароратда $p_1 = 2 \cdot 10^5 \text{ Па}$ босим остида водород $V_1 = 3 \text{ л}$ ҳажми эгаллаган. Газнинг ҳажми $V_2 = 1,5 \text{ л}$ бўлгунча сиқилганда босим $p_2 = 420 \text{ кПа}$ бўлган бўлса, унинг T_2 ҳароратини топинг.

Жавоб: $T_2 = T_1 \frac{p_2 V_2}{p_1 V_1} = 302,4 \text{ К}$.

26.4. Сиқиб чиқаришнинг охирида ҳарорати $t = 47^\circ\text{C}$ дан $t_2 = 367^\circ\text{C}$ га ортиб, ҳажми $V_1 = 1,8 \text{ л}$ дан $V_2 = 0,3 \text{ л}$ гача камайса, ички ёнув двигатели цилиндрида газсимон ишчи модда аралашмасининг босими p_2 қандай бўлади? Дастлабки босимни $p_1 = 1 \cdot 10^5 \text{ Па}$ деб олинг.

Жавоб: $p_2 = p_1 \frac{V_1 \cdot T_2}{V_2 \cdot T_1} = 1,2 \cdot 10^6 \text{ Па} = 1,2 \text{ МПа}$.

26.5. Ҳаво эластик қобикда $t_1 = 20^\circ\text{C}$ ҳарорат ва $p_1 = 10^5 \text{ кПа}$ босим остида $V_1 = 2 \text{ л}$ ҳажми эгаллайди. Бу ҳаво ҳарорати $t_2 = 4^\circ\text{C}$ бўлган сув остидаги $h = 136 \text{ м}$ чуқурликда қандай V_2 ҳажми эгаллайди? Сувнинг зичлигини $\rho = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ деб олинг.

Жавоб: $V_2 = V_1 \frac{p_1 \cdot T_2}{(p_1 + \rho gh) T_1} = 0,13 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = 0,13 \text{ л}$.

26.6. Уйдаги ҳавонинг ҳажми $V = 100 \text{ м}^3$ га тенг. Агар ҳарорати $t_1 = 10^\circ\text{C}$ дан $t_2 = 25^\circ\text{C}$ гача оширилса ва атмосфера

босими $p_2 = 770$ мм сим. уст. га тенг бўлса, уйдан қанча Δm массали ҳаво чиқиб кетади? Нормал шароит ($T_0 = 273$ К ва $p_0 = 1 \cdot 10^5$ Па) да ҳавонинг зичлиги $\rho_0 = 1,29$ кг/м³.

$$\text{Жавоб: } \Delta m = \rho_0 V_1 \frac{p_2 \cdot T_0}{p_0 \cdot T_2} \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right) = 6,5 \text{ кг.}$$

26.7. Баллонда ҳарорати $t_1 = 27^\circ\text{C}$, босими $p_1 = 4$ МПа бўлган газ бор. Агар баллондаги газ массасининг ярми чиқариб юборилгандан кейин ҳарорати $t_2 = 12^\circ\text{C}$ га тушиб қолган бўлса, баллондаги босим p_2 қандай бўлади?

$$\text{Жавоб: } p_2 = p_1 \frac{T_2}{2T_1} = 19 \cdot 10^5 \text{ Па} = 1,9 \text{ МПа.}$$

26.8. Аэростатнинг ҳажми $V = 300$ м³. Унга $t = 20^\circ\text{C}$ ҳароратда $p = 750$ мм сим. уст. ли босимда водород тўлдирилган. Агар баллондан аэростатга ҳар $\Delta\tau = 1$ с да $\Delta m = 2,5$ г водород ўтиб турса, аэростатни водород билан тўлдириш қанча τ вақт давом этади? Нормал шароит ($T_0 = 273$ К ва $p_0 = 1 \cdot 10^5$ Па) да водороднинг зичлиги $\rho_0 = 0,09$ кг/м³.

$$\text{Жавоб: } \tau = \Delta\tau \frac{\rho_0 \cdot V}{\Delta m} \cdot \frac{p \cdot T_0}{p_0 \cdot T} = 9,93 \cdot 10^3 \text{ с.}$$

26.9 Ичида $m_1 = 20$ кг карбонат ангидрид бўлган баллон синаш вақтида $t_1 = 386^\circ\text{C}$ ҳароратда портлаб кетган. Мустаҳкамлик зонаси 5 марта катта қилиб олинганда бундай баллонда $t_2 = 27^\circ\text{C}$ ҳароратда қанча m_2 миқдорда водород сақлаш мумкин? Нормал шароитда карбонат ангидриднинг зичлиги $\rho_{01} = 1,98$ кг/м³, водороднинг зичлиги эса $\rho_{02} = 0,09$ кг/м³.

$$\text{Жавоб: } m_2 = m_1 \frac{\rho_{02}}{\rho_{01}} \cdot \frac{p_2}{p_1} \cdot \frac{T_1}{T_2} = 0,4 \text{ кг.}$$

26.10. Ҳажми $V = 20$ л бўлган баллонда $t_1 = 27^\circ\text{C}$ ҳарорат ва $p_1 = 7,5$ МПа босим остида сиқилган кислород бор. Агар баллондаги газ билан пайвандлаш вақтида баллондаги газнинг ҳарорати $t_2 = 22^\circ\text{C}$ гача пасайган ва босими $p_2 = 5,9$ МПа га тенг бўлса, қанча Δm массали кислород сарфланган. Кислороднинг нормал шароит ($T_0 = 273$ К ва $p_0 = 1 \cdot 10^5$ Па) да зичлиги $\rho_0 = 1,43$ кг/м³.

$$\text{Жавоб: } \Delta m = \rho_0 V_1 \frac{p_2 \cdot T_0}{p_0 \cdot T_2} \cdot \left(\frac{p_1 \cdot T_2}{p_2 \cdot T_1} - 1 \right) = 38,29 \text{ г.}$$

27-§. МЕНДЕЛЕЕВ–КЛАПЕЙҲОН ТЕНГЛАМАСИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Баландлиги $h = 5$ м ва полининг юзи $S = 200$ м² бўлган аудиториядаги ҳавонинг массаси m топилсин. Бинонинг ҳарорати $t = 17^\circ\text{C}$, босими $p = 750$ мм. сим. уст. Ҳавонинг моляр массаси $\mu = 29 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$ деб олинсин.

Берилган: $h = 5$ м; $S = 200$ м²; $T = (273 + 17)$ К = 290 К; $p = 750 \cdot 133$ Па; $\mu = 29$ кг/кмоль; $R = 8,31 \cdot 10^3$ Ж/кмоль·К.

Топиш керак: $m = ?$

Ечилиши. Бунда ҳаво Менделеев—Клапейрон ҳолат тенгламасига бўйсунди:

$$p \cdot V = \frac{m}{\mu} RT,$$

бунда p —ҳавонинг босими, V —унинг ҳажми, T —абсолют ҳарорати, m —газнинг массаси, μ — бир киломоль газнинг массаси, R —газнинг универсал доимийси, $\frac{m}{\mu}$ —киломоллар сони.

Менделеев—Клапейрон тенгламасидан ҳавонинг массаси m ни топиш мумкин:

$$m = \frac{\mu \cdot p \cdot V}{RT} = \frac{\mu p S h}{RT} = \frac{29 \text{ кг/кмоль} \cdot 750 \cdot 133 \text{ Па} \cdot 200 \text{ м}^2 \cdot 5 \text{ м}}{8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{Ж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}} \cdot 290 \text{ К}} = 1200 \text{ кг.}$$

Жавоб: $m = 1200$ кг.

2-масала. Массаси $m = 16$ г бўлган газ $p = 1$ МПа босим ва $t = 112^\circ\text{C}$ ҳароратда $V = 1600$ см³ ҳажми эгаллаган бўлса, газнинг тури (яъни моляр массаси μ) аниқлансин.

Берилган: $m = 16 \cdot 10^{-3}$ кг; $p = 10^6$ Па; $T = (273 + 112)$ К = 385 К; $V = 1600$ см³ = $16 \cdot 10^{-4}$ м³; $R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{Ж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}}$.

Топиш керак: $\mu = ?$

Ечилиши. Идеал газ ҳолатининг Менделеев—Клапейрон тенгламаси $pV = \frac{m}{\mu} RT$ дан, газнинг моляр массаси:

$$\mu = \frac{mRT}{pV} = \frac{16 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{Ж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}} \cdot 385 \text{ К}}{10^6 \text{ Па} \cdot 16 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3} \approx 32 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}.$$

Жавоб: $\mu = 32$ кг/кмоль (кислород).

3-масала. Юзаси $S = 100$ см² бўлган оғир поршенли вертикал цилиндр $m = 10$ г массали кислород билан тўлдирилган. Ҳарорат $\Delta T = 50$ К га ортганда поршень $h = 7$ см баландликка кўтарилган. Агар поршень устидаги нормал босими $p_0 = 1 \cdot 10^5$ Па га тенг бўлса, поршеннинг оғирлиги P топилсин. Кислороднинг моляр массаси $\mu = 32$ кг/кмоль.

Берилган: $S = 100$ см² = $1 \cdot 10^{-2}$ м²; $m = 10$ г = $1 \cdot 10^{-2}$ кг; $\Delta T = 50$ К; $h = 7 \cdot 10^{-2}$ м; $p_0 = 1 \cdot 10^5$ Па; $\mu = 32$ кг/кмоль.

Топиш керак: $P = ?$

Ечилиши. Газнинг ҳолат тенгламаси цилиндр қиздирилгунгача $p_0 V = \frac{m}{\mu} RT$, қиздирилгандан кейин эса $p(V + Sh) =$

$= \frac{m}{\mu} R(T + \Delta T)$ кўринишда бўлади, бунда p_0 , V ва T — газнинг қиздирилгунга қадар бўлган босими, ҳажми ва ҳарорати, S — поршеннинг юзи, h — поршеннинг кўтарилиш баландлиги. Иккинчи тенгламани биринчи тенгламадан айириб ва $p = p_0 + \frac{p}{S}$ эканлигини назарда тутган ҳолда, изланаётган оғирлик P ни топамиз:

$$P = \frac{m \cdot R \cdot \Delta T}{\mu h} - p_0 S = \frac{1 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{Ж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}} \cdot 50 \text{ К}}{32 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}} \cdot 7 \cdot 10^{-2} \text{ м}} - 10^5 \text{ Па} \cdot 10^{-2} \text{ м}^2 = 8,5 \cdot 10^2 \text{ Н}.$$

Жавоб: $P = 8,5 \cdot 10^2 \text{ Н}$.

Муस्ताқил ечиш учун масалалар

27.1. Ҳажми $V = 500 \text{ см}^3$ бўлган идишда $t = 17^\circ \text{C}$ ҳароратли $m = 0,89 \text{ г}$ водород ($\mu = 2 \text{ кг/кмоль}$) бор. Газнинг босими p ни топинг.

Жавоб: $p = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{RT}{V} = 2,17 \text{ МПа}$.

27.2. $t = 27^\circ \text{C}$ ҳароратли $p = 760 \text{ мм сим. уст.}$ босимли $V = 25 \text{ л}$ ҳажмдаги олтингугурт газ (SO_2) нинг массаси m ни топинг. SO_2 газнинг киломоляр массаси $\mu = (16 + 32) \text{ кг/кмоль} = 48 \text{ кг/кмоль}$.

Жавоб: $m = \frac{pV\mu}{RT} = 48 \cdot 10^{-3} \text{ кг} = 48 \text{ г}$.

27.3. Ҳажми $V_1 = 40 \text{ л}$ бўлган баллонда $m = 1,98 \text{ кг}$ карбонат ангидрид газ (CO_2) бор. Баллон $p = 3 \text{ МПа}$ босимгача чидаш бера олса, қандай T ҳароратда портлаш хавфи бор? Газнинг моляр массаси $\mu = (12 + 32) \text{ кг/кмоль} = 44 \text{ кг/кмоль}$.

Жавоб: $T = \frac{pV\mu}{Rm} = 320 \text{ К}$.

27.4. $t = 20^\circ \text{C}$ ҳароратда $p = 750 \text{ мм сим. уст.}$ босимда $m = 10 \text{ г}$ кислород ($\mu = 32 \text{ кг/кмоль}$) қандай V ҳажмни эгаллайди?

Жавоб: $V = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{RT}{p} = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$.

27.5. Водород ($\mu_1 = 2 \text{ кг/кмоль}$) ва кислород ($\mu_2 = 32 \text{ кг/кмоль}$) нинг нормал шароит ($T_0 = 273 \text{ К}$ ва $p_0 = 1 \cdot 10^5 \text{ Па}$) даги зичликлари ρ_{01} ва ρ_{02} ни топинг.

Жавоб: $\rho_{01} = \frac{p_0 \cdot \mu_1}{RT_0} = 0,09 \text{ кг/м}^3$; $\rho_{02} = \frac{p_0 \cdot \mu_2}{RT_0} = 1,41 \text{ кг/м}^3$.

27.6. Кавшарланган идиш ҳажмининг ярмигача сув (H_2O) тўлдирилган. Агар $t=400^\circ\text{C}$ ҳароратда сув тўлиқ бугга айланган бўлса, шу ҳароратда сув бугининг зичлиги ρ ва босими p ни топинг. Сувнинг зичлиги $\rho_0=10^3\text{кг/м}^3$ ва моляр массаси $\mu=18\text{ кг, кмоль}$.

$$\text{Жавоб: } \rho = \frac{m}{V} = \frac{\rho_0}{2} = 500\text{ кг/м}^3; \quad p = \frac{\rho_0 RT}{2\mu} = 155 \cdot 10^6\text{ Па.}$$

27.7. Ҳавонинг нормал шароит ($T_0=273\text{ К}$ ва $p_0=1 \cdot 10^5\text{ Па}$) даги зичлиги $\rho_0=1,29\text{ кг/м}^3$ бўлса, унинг $t=127^\circ\text{C}$ ҳарорат ва $p=500\text{ кПа}$ босим остидаги зичлиги ρ қандай?

$$\text{Жавоб: } \rho = \rho_0 \left(\frac{p}{p_0} \right) \left(\frac{T_0}{T} \right) = 4,4\text{ кг/м}^3.$$

27.8. $T=360\text{ К}$ максимал ҳароратда босим $p=6\text{ МПа}$ дан ошмаслиги учун $\nu = \frac{m}{\mu} = 50$ моль газ сақланадиган баллоннинг ҳажми V қандай бўлиши керак?

$$\text{Жавоб: } V = \frac{mRT}{\mu p} = 25 \cdot 10^{-3}\text{ м}^3 = 25\text{ л.}$$

27.9. Баландлиги $h=7134\text{ м}$ бўлган чўққилардан бирида босим $p=288\text{ мм сим уст. ни ташкил қилади}$. Агар чўққи тепасида ҳарорат $t=0^\circ\text{C}$ бўлса, ҳавонинг зичлиги ρ ни топинг. Ҳавонинг моляр массасини $\mu=29\text{ кг/кмоль}$ деб олинг.

$$\text{Жавоб: } \rho = \frac{p\mu}{RT} = 0,49\text{ кг/м}^3.$$

27.10. Баллондаги $m_1=4\text{ г}$ массали водород ($\mu_1=2\text{ кг/кмоль}$) $t_1=60^\circ\text{C}$ ҳароратда $p_1=444\text{ кПа}$ босимни ҳосил қилади. Агар шу баллонга солинган $m=7\text{ г}$ массали номаълум газ $t_2=27^\circ\text{C}$ ҳароратда $p_2=50\text{ кПа}$ босимни юзага келтирса, унинг моляр массаси μ_2 ни топинг.

$$\text{Жавоб: } \mu_2 = \mu_1 \frac{m_1}{m} \cdot \frac{p_1}{p_2} \cdot \frac{T_2}{T_1} = 28\text{ кг/кмоль.}$$

VI БОБ. ИССИҚЛИК ҲОДИСАЛАРИ ВА ТЕРМОДИНАМИКАНИНГ ФИЗИК АСОСЛАРИ

• Модданинг олган иссиқлик миқдори Q модда массаси m га ва ҳароратлар фарқи (t_2-t_1) га пропорционалдир:

$$Q = cm(t_2 - t_1), \quad (\text{VI.1})$$

бунда c —модданинг солиштирма иссиқлик сифими.

• Эриш ҳароратидаги қаттиқ жисмнинг эриш иссиқлиги Q жисмнинг массаси m га пропорционалдир:

$$Q = \lambda m, \quad (\text{VI.2})$$

бунда λ —қаттиқ жисмнинг солиштирма эриш иссиқлиги.

● Қайнаш ҳароратидаги суюқликнинг буғланиш иссиқлиги Q суюқликнинг массаси m га пропорционалдир:

$$Q = Lm, \quad (VI.3)$$

бунда L —суюқликнинг солиштирма буғланиш иссиқлиги.

● Ёқилги ёнганда чиқарадиган иссиқлиги Q ёқилгининг массаси m га пропорционалдир:

$$Q = qm, \quad (VI.4)$$

бунда q —ёқилгининг солиштирма ёниш иссиқлиги.

● Ҳавонинг бирор t ҳароратдаги абсолют намлиги ρ_t унда мавжуд бўлган сув буғининг зичлиги билан ўлчанади, яъни:

$$\rho_t = \frac{m}{V}, \quad (VI.5)$$

бунда m —ҳавонинг бирор V ҳажмидаги сув буғининг массаси.

● Ҳавонинг бирор ҳароратдаги нисбий намлиги f шу ҳароратдаги абсолют намлик ρ_t шу ҳароратдаги тўйинган сув буғи зичлиги ρ_{t0} нинг қанча қисмини ташкил этишини кўрсатади:

$$f = \frac{\rho_t}{\rho_{t0}} = \frac{\rho_t}{\rho_{t0}} \cdot 100\%. \quad (VI.6)$$

Кўрсатма: Тўйинтирувчи сув буғи зичлиги ρ_{t0} нинг ҳар хил ҳароратлардаги қийматлари жалвалда берилган бўлади.

● Термодинамиканинг биринчи қонуни: системага берилган иссиқлик миқдори Q система ички энергиясининг ўзгариши Δu га ва ташқи кучнинг еңгиш иши A га сарф бўлади:

$$Q = \Delta u + A. \quad (VI.7)$$

● Бир моль идеал газнинг ички энергияси ва унинг ўзгариши:

$$u_0 = N_A \frac{i}{2} kT = \frac{i}{2} RT; \quad \Delta u_0 = \frac{i}{2} R\Delta T, \quad (VI.8)$$

бунда i —газ молекулаларининг эркинлик даражаси.

● Ихтиёрий m массали идеал газнинг ички энергияси ва унинг ўзгариши:

$$u = \nu u_0 = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT; \quad \Delta u = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R\Delta T, \quad (VI.9)$$

бунда $\nu = \frac{m}{\mu}$ —молда миқдори, яъни моллар сони.

Изобарик ($p = \text{const}$) жараёнда бажарилган иш:

$$A = p\Delta V = \frac{m}{\mu} R\Delta T. \quad (VI.10)$$

● Изохорик ($V = \text{const}$) жараёнда системанинг олган иссиқлик миқдори Q_V қуйидагига тенг:

$$Q_V = \frac{m}{\mu} C_V \Delta T = c_V m \Delta T, \quad (VI.11)$$

бунда C_V ва c_V —ўзгармас ҳажм ($V = \text{const}$) даги газнинг моляр ва солиштира иссиқлик сифимлари бўлиб, улар қуйидагига тенгдир:

$$C_V = \frac{i}{2} R; \quad c_V = \frac{C_V}{\mu} = \frac{i}{2} \cdot \frac{R}{\mu}. \quad (\text{VI.12})$$

● Изобарик ($p = \text{const}$) жараёнда системанинг олган иссиқлик миқдори:

$$Q_p = \frac{m}{\mu} C_p \Delta T = c_p m \Delta T, \quad (\text{VI.13})$$

бунда C_p ва c_p —ўзгармас босим ($p = \text{const}$) даги газнинг моляр ва солиштира иссиқлик сифимлари бўлиб, улар қуйидагиларга тенгдир:

$$C_p = \frac{i+2}{2} R; \quad c_p = \frac{C_p}{\mu} = \frac{i+2}{2} \cdot \frac{R}{\mu}. \quad (\text{VI.14})$$

● Адиабатик ($Q=0$) жараён қуйидаги Пуассон тенгламалари билан ифодаланади:

$$p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma = \text{const}; \quad T_1 V_1^{\gamma-1} = \text{const}; \quad T_1 p_1^{\frac{1}{\gamma-1}} = T_2 p_2^{\frac{1}{\gamma-1}}, \quad (\text{VI.15})$$

бу ердаги γ адиабата кўрсаткичи ёки Пуассон коэффициенти деб аталади, у қуйидагига тенг:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{i+2}{i}. \quad (\text{VI.16})$$

● Адиабатик ($Q=0$) жараёнда бажарилган иш:

$$A = -\Delta u = -\frac{m}{\mu} \cdot \frac{i}{2} R \Delta T = -\frac{m}{\mu} C_V \Delta T = -c_V m \Delta T. \quad (\text{VI.17})$$

● Иссиқлик машиналарининг фойдали иш коэффициенти:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}. \quad (\text{VI.18})$$

бунда Q_1 —иситгичдан олинган, Q_2 —совитгичга берилган иссиқлик миқдорлари.

● Идеал иссиқлик машинаси, яъни Карно циклининг термик фойдали иш коэффициенти (ФИК):

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}. \quad (\text{VI.19})$$

● Сууюқлик эркин сиртининг ортиқча потенциал энергияси W_n эркин сиртнинг ўзгариш юзаси ΔS га пропорционалдир:

$$W_n = \alpha \Delta S, \quad (\text{VI.20})$$

бунда α —пропорционаллик коэффициенти бўлиб, у сирт тарафлик коэффициенти деб аталади.

• Суюқликнинг эркин сиртини қисқартирувчи, сиртга уринма равишда йўналган F_T куч таранглик кучи деб аталиб, у эркин сирт чегаралаган узунлик l га пропорционалдир:

$$F_T = \alpha l, \quad (VI.21)$$

бунда α —сирт таранглик коэффициенти.

● Суюқлик сиртини кенгайтиришда сирт таранглик кучи F_T га қарши бажарилган иш A қуйидагига тенгдир:

$$A = F_T h = \alpha l h = \alpha \Delta S, \quad (VI.22)$$

бунда ΔS —суюқлик эркин сирти юзаси, l —суюқлик эркин сирти чегаралаган узунлик, h —эркин сиртнинг қўзилиш масофаси.

28-§. ИССИҚЛИК МИҚДОРИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. $m_2 = 200$ г массали жез калориметрда $t_1 = 12^\circ\text{C}$ ҳароратли $m_1 = 150$ г массали сув бор. Агар сувга $t_2 = 100^\circ\text{C}$ гача иситилган $m_3 = 250$ г массали темир туширилса, калориметрда қарор топадиган θ ҳарорат топилсин. $c_1 = 4,18$ кЖ/кг·град × град. $c_2 = 0,386$ $\frac{\text{кЖ}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$. $c_3 = 0,5$ $\frac{\text{кЖ}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$ —мос равишда сув, жез ва темирнинг солиштирма иссиқлик сифимлари.

Берилган: $m_1 = 0,15$ кг; $m_2 = 0,2$ кг; $m_3 = 0,25$ кг; $t_1 = 12^\circ\text{C}$; $t_2 = 100^\circ\text{C}$; $c_1 = 4180$ Ж/кг·град; $c_2 = 386$ Ж/кг·град; $c_3 = 500$ Ж/кг·град.

Топиш керак: $\theta = ?$

Ечилиши. Сувли калориметрни θ ҳароратгача иситиш учун $Q_1 = c_1 m_1 (\theta - t_1)$ ва $Q_2 = c_2 m_2 (\theta - t_1)$ иссиқлик миқдорлари сарф бўлади. Худди шу пайтда калориметрга туширилган темир бўлагидан эса $Q_3 = c_3 m_3 (t_2 - \theta)$ иссиқлик миқдори чиқади.

Энергиянинг сақланиш қонунига биноан иссиқлик баланси тенгламасини тузамиз:

$$c_1 m_1 (\theta - t_1) + c_2 m_2 (\theta - t_1) = c_3 m_3 (t_2 - \theta).$$

Бундан изланаётган θ ни топиш мумкин:

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{c_1 m_1 t_1 + c_2 m_2 t_1 + c_3 m_3 t_2}{c_1 m_1 + c_2 m_2 + c_3 m_3} = \\ &= \frac{4180 \text{ Ж/кг}\cdot\text{град}\cdot 0,15 \text{ кг}\cdot 12^\circ\text{C} + 460 \text{ Ж/кг}\cdot\text{град}\cdot 0,25 \text{ кг}\cdot 100^\circ\text{C} +}{4180 \text{ Ж/кг}\cdot\text{град}\cdot 0,15 \text{ кг} + 386 \text{ Ж/кг}\cdot\text{град}\cdot 0,2 \text{ кг} +} \\ &\quad + \frac{386 \text{ Ж/кг}\cdot\text{град}\cdot 0,2 \text{ кг}\cdot 12^\circ\text{C}}{460 \text{ Ж/кг}\cdot\text{град}\cdot 0,25 \text{ кг}} = 24^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

Жавоб $\theta = 24^\circ\text{C}$.

2-масала. Массаси $m_2 = 0,2$ кг бўлган жез калориметрда $t_1 = 17^\circ\text{C}$ ҳароратли $m_1 = 0,4$ кг сув қуйиб, унга $t_2 = 85^\circ\text{C}$ ҳаро-

ратгача қиздирилган $m_3 = 0,6$ кг кумуш туширилганда сув $\theta = 22^\circ\text{C}$ ҳароратгача исиган. Кумушнинг солиштирма иссиқлик сифими c_3 топилсин. $c_1 = 4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$, $c_2 = 386 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$ сув ва жезнинг солиштирма иссиқлик сифимлари.

Берилган: $m_1 = 0,4$ кг; $m_2 = 0,2$ кг; $m_3 = 0,6$ кг; $t_1 = 17^\circ\text{C}$; $t_2 = 85^\circ\text{C}$; $\theta = 22^\circ\text{C}$; $c_1 = 4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}\cdot\text{гр}}$; $c_2 = 386 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}\cdot\text{гр}}$.

Топиш керак: $c_3 = ?$

Ечилиши. Сувли калориметрни θ ҳароратгача иситиш учун $Q_1 = c_1 m_1 (\theta - t_1)$ ва $Q_2 = c_2 m_2 (\theta - t_1)$ иссиқлик миқдори сарф бўлади. Калориметрга туширилган кумуш эса θ ҳароратгача совиб, $Q_3 = c_3 m_3 (t_2 - \theta)$ иссиқлик миқдори чиқаради.

Энергиянинг сақланиш қонунига биноан, иссиқлик баланси тенгламасини тузамиз:

$$c_1 m_1 (\theta - t_1) + c_2 m_2 (\theta - t_1) = c_3 m_3 (t_2 - \theta).$$

Бундан изланаётган кумушнинг c_3 солиштирма иссиқлик сифими:

$$c_3 = \frac{(c_1 m_1 + c_2 m_2) (\theta - t_1)}{m_3 (t_2 - \theta)} = \frac{(4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}\cdot\text{град}} \cdot 0,4 \text{кг} + 386 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}\cdot\text{град}} \cdot 0,2 \text{кг}) (22^\circ\text{C} - 17^\circ\text{C})}{0,6 \text{кг} (85^\circ\text{C} - 22^\circ\text{C})} = \frac{8746 \text{Ж}}{37,8 \text{кг}\cdot\text{град}} = 231 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}.$$

Жавоб: $c_3 = 231$ Ж/кг·град.

3- масала. $m_2 = 120$ г массали жез калориметрга $t_1 = 20^\circ\text{C}$ ҳароратли $m_1 = 100$ г керосин қуйиб, унинг ичига $t_2 = 96^\circ\text{C}$ гача қиздирилган $m_3 = 200$ г массали темир бўлаги туширилганда керосиннинг ҳарорати $\theta = 40^\circ\text{C}$ гача кўтарилган бўлса, керосиннинг солиштирма иссиқлик сифими c_1 топилсин. Жез ва темирнинг солиштирма иссиқлик сифимлари $c_2 = 386 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$ ва

$$c_3 = 500 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}.$$

Берилган: $m_1 = 0,1$ кг; $m_2 = 0,12$ кг; $m_3 = 0,2$ кг; $t_1 = 20^\circ\text{C}$; $t_2 = 96^\circ\text{C}$; $\theta = 40^\circ\text{C}$; $c_2 = 386 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$, $c_3 = 460 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$.

Топиш керак: $c_1 = ?$

Ечилиши. Керосин ва калориметрнинг t_1 ҳароратдан θ ҳарорат исиганда олган иссиқлик миқдорлари $Q_1 = c_1 m_1 (\theta - t_1)$ ва $Q_2 = c_2 m_2 (\theta - t_1)$ бўлади. У ҳолда энергиянинг сақланиш қонунига асосан қуйидаги иссиқлик баланс тенгламасини тузиш мумкин:

$$c_1 m_1 (\theta - t_1) + c_2 m_2 (\theta - t_1) = c_3 m_3 (t_2 - \theta).$$

Бундан изланаётган керосиннинг c_1 солиштирма иссиқлик сифими:

$$c_1 = \frac{c_2 m_2 (t_2 - \theta) - c_1 m_1 (\theta - t_1)}{m_1 (\theta - t_1)} =$$

$$= \frac{460 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}} \cdot 0,2 \text{ кг} (90^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C}) - 386 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}} \cdot 0,12 \text{ кг} (40^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})}{0,1 \text{ кг} (40^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})} =$$

$$= 2113 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$$

Жавоб: $c_1 = 2113 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$

Мустақил ечиш учун масалалар

28.1. Ҳарорати $t_1 = 80^\circ\text{C}$ ва массаси $m_1 = 2$ кг бўлган сувни $\theta = 60^\circ\text{C}$ гача совитиш учун унга қўшилган $t_2 = 10^\circ\text{C}$ ҳароратли совуқ сувнинг массаси m_2 ни топинг.

Жавоб: $m_2 = m_1 \frac{t_1 - \theta}{\theta - t_2} = 0,8 \text{ кг} = 800 \text{ г}$.

28.2. Иссиқлик сифими $C = 63 \frac{\text{Ж}}{\text{град}}$ бўлган калориметрга $t_1 = 12^\circ\text{C}$ ҳароратли $m_1 = 250$ г мой қуйилган. Мойга $m_2 = 500$ г массали ҳарорати $t_2 = 100^\circ\text{C}$ бўлган мис жисм туширилгандан кейин умумий ҳарорат $\theta = 33^\circ\text{C}$ бўлиб қолган. Тажриба маълумотларига кўра мойнинг солиштирма иссиқлик сифими c_1 ни топинг. Миснинг солиштирма иссиқлик сифими $c_2 = 380 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$.

Жавоб: $c_1 = \frac{c_2 m_2 (t_2 - \theta) - C(\theta - t_1)}{m_1 (\theta - t_1)} = 2173 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$

28.3. Ваннада $\theta = 36^\circ\text{C}$ ҳароратли $m = 550$ кг массали сув тайёрлаш учун аралаштирилган, ҳароратлари мос равишда $t_1 = 11^\circ\text{C}$ ва $t_2 = 66^\circ\text{C}$ бўлган совуқ ва иссиқ сувларнинг массалари m_1 ва m_2 ни топинг.

Жавоб: $m_1 = m \frac{t_2 - \theta}{t_2 - t_1} = 300 \text{ кг}$; $m_2 = m \frac{\theta - t_1}{t_2 - t_1} = 250 \text{ кг}$.

28.4. $m_k = 0,2$ кг массали жез калориметрга $m_1 = 0,4$ кг массали, $t_1 = 10^\circ\text{C}$ ҳароратли анилин солинган. Калориметрга яна $t_2 = 31^\circ\text{C}$ ҳароратгача иситилган $m_2 = 0,4$ кг массали анилин қўшилди. Улар аралашгандан сўнг $\theta = 20^\circ\text{C}$ ҳарорат қарор топган бўлса, анилиннинг солиштирма иссиқлик сифими c ни топинг. Жезнинг солиштирма иссиқлик сифимини $c_{\text{ж}} = 400 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$ деб олинг.

Жавоб: $c = \frac{c_k m_k (\theta - t_1)}{m_2 (t_2 - \theta) - m_1 (\theta - t_1)} = 2 \cdot 10^3 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$

28.5. $v = 850$ м/с тезлик билан учаётган пўлат ўқ дарахтга кириб унга қадалиб қолган. Агар урилишда ажралган иссиқликнинг $\eta = 40\%$ и иситишга сарф бўлса, ўқ қанча Δt ҳароратда исиган? Пўлатнинг солиштирма иссиқлик сифими $c = 460 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$.

$$\text{Жавоб: } \Delta t = \frac{v^2}{2\eta c} = 322.$$

28.6. Ҳажми $V = 60 \text{ м}^3$ бўлган аудиториядаги ҳавонинг ҳароратини $\Delta t = 15^\circ$ га иситиш учун қанча Q иссиқлик миқдори керак? Ҳавонинг зичлиги $\rho = 1,29 \text{ кг/м}^3$ ва солиштирма иссиқлик сифими $c = 10^3 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$.

$$\text{Жавоб: } Q = c\rho V \Delta t = 1,16 \cdot 10^6 \text{ Ж.}$$

28.7. Баландлиги $h = 120$ м бўлган шаршарадан тушаётган сувнинг механик энергияси тўлиқ ўзини иситишга сарф бўлса, шаршара асосидаги сув қанча Δt ҳароратга иситилиши топинг. Сувнинг солиштирма иссиқлик сифими $c = 4180 \text{ Ж/кг} \cdot \text{град}$.

$$\text{Жавоб: } \Delta t = \frac{gh}{c} = 0,28^\circ.$$

28.8. Ҳажми $V = 1$ л бўлган сувнинг $t_1 = 100^\circ\text{C}$ дан $t_2 = 20^\circ\text{C}$ гача совишида ажралган энергия ҳисобига $m_2 = 10^3$ кг массали юкни қандай h баландликка кўтариш мумкин? Сувнинг зичлиги $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$ ва солиштирма иссиқлик сифими $c = 4180 \text{ Ж/кг} \cdot \text{град}$.

$$\text{Жавоб: } h = \frac{c\rho V(t_1 - t_2)}{gm} \cong 34 \text{ м.}$$

28.9. Оғирлиги $P = 10$ кН бўлган болға $h = 2,5$ м баландликдан тушиб $m_1 = 200$ кг массали темир ғўлага келиб урилади. Агар болға урилишида ажралган иссиқликнинг $\eta = 60\%$ и темир ғўлани иситишга сарф бўлса, унинг ҳароратини $\Delta t = 40^\circ$ га кўтариш учун, болғанинг унга неча марта урилиши кераклиги N ни топинг. Темирнинг солиштирма иссиқлик сифими $c = 460 \text{ Ж/кг} \cdot \text{град}$.

$$\text{Жавоб: } N = \frac{cm\Delta t}{\eta Ph} = 245 \text{ марта.}$$

28.10. Печкадаги ҳароратни аниқлаш учун унинг ичида қиздирилган $m_1 = 0,3$ кг массали темир ғўлачани $t_2 = 5^\circ\text{C}$ ҳароратли $m_2 = 1,2$ кг суви бўлган $m_3 = 0,2$ кг массали мис идишга ташланганда идишдаги сув $\theta = 32^\circ\text{C}$ гача кўтарилган. Печканинг ҳарорати t_1 ни топинг. Темир, сув ва миснинг солиштирма иссиқлик сифимлари мос равишда $c_1 = 460 \text{ Ж/кг} \cdot \text{град}$, $c_2 = 4180 \text{ Ж/кг} \cdot \text{град}$, $c_3 = 390 \text{ Ж/кг} \cdot \text{град}$.

$$\text{Жавоб: } t_1 = \theta + \frac{(c_2 m_2 + c_3 m_3)(\theta - t_2)}{c_1 m_1} \cong 660^\circ\text{C.}$$

28.11. Массаси $m_2 = 100$ г бўлган темир калориметрда $t_1 = 15^\circ\text{C}$ ҳароратли $m_1 = 500$ г сув бор. Калориметрга умумий массаси $m = 150$ г ва ҳарорати $t_2 = 100^\circ\text{C}$ бўлган қўрғошин ва алюминий ташланган. Натижада сувнинг ҳарорати $\theta = 17^\circ\text{C}$ га кўтарилган. Қўрғошин ва алюминийнинг массалари m_3 ва m_4 ни аниқланг. Сувнинг солиштирма иссиқлик сифими $c_1 = 4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$, темирники $c_2 = 460 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$; қўрғошинники $c_3 = 130 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$, алюминийники эса $c_4 = 880 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$.

Жавоб: $m_3 = \frac{c_4 m_4 (t_2 - \theta) - (c_1 m_1 + c_2 m_2)(\theta - t_1)}{(c_4 - c_3)(t_2 - \theta)} = 0,108 \text{ кг} = 108 \text{ г}; m_4 = m - m_3 = 0,042 \text{ кг} = 42 \text{ г}.$

29-§. ЭРИШ ВА ҚОТИШ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. $m_2 = 80$ г массали алюминий калориметрдаги $t = 35^\circ\text{C}$ ҳароратли ва $m_1 = 300$ г массали сувга $t_0 = 0^\circ\text{C}$ ҳароратли $m_3 = 112$ г муз ташланганда калориметрдаги сувнинг ҳарорати $\theta = 5^\circ\text{C}$ бўлиб қолган. Бу тажриба асосида музнинг солиштирма эриш иссиқлиги λ ни топинг. Сувнинг солиштирма иссиқлик сифими $c_1 = 4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$, алюминийники эса $c_2 = 880 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$.

Берилган: $m_1 = 0,30$ кг; $m_2 = 0,08$ кг; $m_3 = 0,112$ кг; $t = 35^\circ\text{C}$; $t_0 = 0^\circ\text{C}$ $\theta = 5^\circ\text{C}$; $c_1 = 4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$; $c_2 = 880 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$.

Топиш керак: $\lambda = ?$

Ечилиши. Калориметрдаги сувга $t_0 = 0^\circ\text{C}$ ҳароратли муз ташланганда калориметрдаги сувнинг ҳарорати θ гача сови-ганда сув $Q_1 = c_1 m_1 (t - \theta)$ ва калориметр $Q_2 = c_2 m_2 (t - \theta)$ иссиқ-лик миқдори чиқаради. Эриган муздан ҳосил бўлган сув $Q_3 = c_1 m_3 (\theta - t_0)$ иссиқликни ютиб, θ ҳароратгача исийди. Бинобарин, энергиянинг сақланиш қонунига асосан қуйидаги энер-гия баланси тенгласини тузамиз:

$$c_1 m_1 (t - \theta) + c_2 m_2 (t - \theta) = \lambda m_3 + c_1 m_3 (\theta - t_0).$$

Бундан музнинг солиштирма эриш иссиқлиги:

$$\lambda = \frac{(c_1 m_1 + c_2 m_2)(t - \theta) - c_1 m_3 (\theta - t_0)}{m_3} = \frac{[4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}\cdot\text{град}} \cdot 0,3 \text{ кг} + 880 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}\cdot\text{град}} \cdot 0,08 \text{ кг}] \cdot 30^\circ\text{C} - 4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}\cdot\text{град}} \cdot 0,112 \text{ кг} \cdot 5^\circ\text{C}}{0,112 \text{ кг}} \approx 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}.$$

Жавоб: $\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$

2- масала. Ҳажми $V_1 = 100$ л бўлган ваннани $t_1 = 80^\circ\text{C}$ ҳароратли сув ва $t_2 = -20^\circ\text{C}$ ҳароратли муздан фойдаланиб, $\theta = 30^\circ\text{C}$ ҳароратли сув билан тўлдириш керак. Бунинг учун керак бўладиган музнинг массаси m_2 ни топинг. Ваннанинг иссиқлик сифимини ва иссиқлик йўқотишини ҳисобга олманг. Сувнинг солиштира иссиқлик сифими $c_1 = 4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$, музники $c_2 = 2090 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$, музнинг солиштира эриш иссиқлиги $\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$, сувнинг зичлиги $\rho = 10^3 \text{ кг м}^3$.

Берилган: $V_1 = 100 \text{ л} = 0,1 \text{ м}^3$; $t_1 = 80^\circ\text{C}$; $t_2 = -20^\circ\text{C}$; $t_0 = 0^\circ\text{C}$; $\theta = 30^\circ\text{C}$; $c_1 = 4180 \text{ Ж/кг} \cdot \text{град}$; $c_2 = 2090 \text{ Ж/кг} \cdot \text{град}$; $\lambda = 3,3 \times 10^5 \text{ Ж/кг}$.

Топиш керак: $m_2 = ?$

Ечилиши. Ҳарорати t_1 бўлган иссиқ сувнинг θ ҳароратгача совиганда чиқарган иссиқлик миқдори $Q_1 = c_1 m_1 (t_1 - \theta)$ бўлиб, бунда $m_1 = (\rho V - m_2)$ иссиқ сувнинг массаси, m_2 музнинг массаси, ρV — эса ваннадаги умумий сувнинг массаси. У ҳолда $Q_1 = c_1 (\rho V - m_2) (t_1 - \theta)$ бўлади.

Шунингдек, t_2 ҳароратдан $t_0 = 0^\circ\text{C}$ ҳароратгача иситилганда муз олган иссиқлик миқдори $Q_2 = c_2 m_2 (t_0 - t_2)$ ва $t_0 = 0^\circ\text{C}$ ҳароратли музнинг эриши учун зарур бўлган иссиқлик миқдори $Q_3 = \lambda m_2$ бўлади. Муздан ҳосил бўлган сув t_0 ҳароратдан θ ҳароратгача исиганда олган иссиқлик миқдори эса $Q_4 = c_1 m_2 (\theta - t_0)$ бўлади.

Бинобарин, энергиянинг сақланиш қонунига кўра қуйидаги баланс тенгламасини тузиш мумкин:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 + Q_4$$

ёки

$$c_1 (\rho V - m_2) (t_1 - \theta) = c_2 m_2 (t_0 - t_2) + \lambda m_2 + c_1 m_2 (\theta - t_0).$$

Бундан изланаётган m_2 масса қуйидагига тенг бўлади:

$$m_2 = \frac{c_1 \rho V (t_1 - \theta)}{\lambda + c_1 (t_1 - t_0) + c_2 (t_0 - t_2)} = \frac{4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}} \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,1 \text{ м}^3 \cdot 50^\circ\text{C}}{3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}} + 4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}} \cdot 80^\circ\text{C} + 2090 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}} \cdot 20^\circ\text{C}} \approx 30 \text{ кг}.$$

Жавоб: $m_2 = 30 \text{ кг}$.

3- масала. Ерга тушиб келаётган қўرғошин парчасининг тўсиққа урилиш пайтидаги тезлиги $v = 330 \text{ м/с}$ бўлган. Агар урилишда ажралган энергия қўрғошин парчасини тўлиқ иситишга сарф бўлса, унинг қандай қисми эриб кетиши (яъни

$\frac{m_1}{m}$) ни топинг. Урилиш олдидан қўрғошиннинг ҳарорати $t_0 = -27^\circ\text{C}$ бўлган. Қўрғошиннинг эриш ҳарорати $t = 327^\circ\text{C}$, солиштирама иссиқлик сифими $c = 125,7 \text{ Ж/кг}\cdot\text{град}$ ва солиштирама эриш иссиқлиги $\lambda = 26,4 \cdot 10^3 \text{ Ж/кг}$.

Берилган: $v = 330 \text{ м/с}$; $t_0 = 27^\circ\text{C}$; $t = 327^\circ\text{C}$; $c = 125,7 \text{ Ж/кг}\cdot\text{град}$; $\lambda = 26,4 \cdot 10^3 \text{ Ж/кг}$.

Топиш керак: $\frac{m_1}{m} = ?$

Ечилиши. Қўрғошин парчаси тўсиққа урилганда унинг кинетик энергияси $W_k = \frac{mv^2}{2}$ парчанинг ички энергиясининг ортишига, яъни унинг эриш ҳарорати t гача иссиши учун зарур бўлган $Q_1 = cm(t - t_0)$ иссиқликка ва қисман эриши учун керак бўлган $Q_2 = \lambda m_1$ иссиқликка сарф бўлади. Бинобарин,

$$W_k = Q_1 + Q_2 \quad \text{ёки} \quad \frac{mv^2}{2} = cm(t - t_0) + \lambda m_1.$$

Охириги тенгламанинг ўнг ва чап томонларини m га бўлиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\frac{v^2}{2} = c(t - t_0) + \lambda \frac{m_1}{m}.$$

Бундан изланаётган қиймат:

$$\begin{aligned} \frac{m_1}{m} &= \frac{\frac{v^2}{2} - c(t - t_0)}{\lambda} = \frac{v^2 - 2c(t - t_0)}{2\lambda} = \\ &= \frac{3,3^2 \cdot 10^4 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} - 2 \cdot 125,7 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}\cdot\text{град}} \cdot 300^\circ\text{C}}{2 \cdot 26,4 \cdot 10^3 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}} = 0,63 = 63\%. \end{aligned}$$

Жавоб: Қўрғошиннинг $\frac{m_1}{m} = 63\%$ и эриб кетар экан.

Мустақил ечиш учун масалалар

29.1. Ҳарорати $t_1 = -20^\circ\text{C}$ бўлган $m = 5 \text{ кг}$ музни эритиш ва ундан ҳосил бўлган сувни $t_2 = 15^\circ\text{C}$ гача иситиш учун қанча Q иссиқлик миқдорини сарфлаш керак? Музнинг солиштирама иссиқлик сифими $c_1 = 2090 \text{ Ж/кг}\cdot\text{град}$, сувники эса $c_2 = 4180 \text{ Ж/кг}\cdot\text{град}$, музнинг эриш ҳарорати $t_0 = 0^\circ\text{C}$ ва солиштирама эриш иссиқлиги $\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$.

Жавоб: $Q = m[c_1(t_0 - t_1) + \lambda + c_2(t_2 - t_0)] = 2,174 \cdot 10^6 \text{ Ж} = 2,174 \text{ МЖ}$.

29.2 Бошланғич ҳарорати $t_0 = 1^\circ\text{C}$ бўлган $m = 4 \text{ кг}$ қўрғошинни эриш ҳарорати ($t = 327^\circ\text{C}$) гача қиздириб, сўнг тўлиқ

эритиш учун қанча иссиқлик миқдори Q сарф қилиниши керак? Қўрғошиннинг солиштирма иссиқлик сифими $c = 130 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$ солиштирма эриш иссиқлиги эса $\lambda = 25 \cdot 10^3 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$.

Жавоб: $Q = m[c(t-t_0) + \lambda] = 0,27 \cdot 10^6 \text{ Ж} = 0,27 \text{ МЖ}$.

29.3. Ҳарорати $t_0 = 0^\circ\text{C}$ бўлган музнинг устига $t = 100^\circ\text{C}$ гача қиздирилган $m = 200\text{г}$ массали мис бўлаги қўйилган. Шу бўлак $t_0 = 0^\circ\text{C}$ гача совиғанда қанча m_1 массали муз эрийди? Музнинг солиштирма эриш иссиқлиги $\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$, миснинг солиштирма иссиқлик сифими эса $c = 390 \text{ Ж/кг} \cdot \text{град}$.

Жавоб: $m_1 = m \frac{c(t-t_0)}{\lambda} = 23,6 \cdot 10^{-3} \text{ кг} = 23,6\text{г}$.

29.4. Массаси $m_1 = 1,2 \text{ кг}$ бўлган ва $t = 100^\circ\text{C}$ гача қиздирилган бир бўлак қўрғошин $t_0 = 0^\circ\text{C}$ ҳароратли муз парчасидаги чуқурчага қўйилган. Шу қўрғошин $t = 0^\circ\text{C}$ гача совиғанда $m_2 = 47 \text{ г}$ муз эриган. Шу тажрибадан олинган маълумотга асосланиб, музнинг солиштирма эриш иссиқлиги λ ни топинг. Қўрғошиннинг солиштирма иссиқлик сифими $c = 130 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$.

Жавоб: $\lambda = c(t-t_0) \frac{m_1}{m_2} = 3,32 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$.

29.5. Ҳарорати $t_1 = 20^\circ\text{C}$, ҳажми $V_1 = 5 \text{ л}$ бўлган сувни $t_2 = 8^\circ\text{C}$ гача совитиш учун унинг ичига ташланган $t_0 = 0^\circ\text{C}$ ҳароратли музнинг массаси m_2 ни топинг. Сувни ρ зичлиги $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$, солиштирма иссиқлик сифими $c = 4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$, музнинг солиштирма эриш иссиқлиги эса $\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$.

Жавоб: $m_2 = \rho V_1 \frac{c(t_1-t_2)}{c(t_2-t_0) + \lambda} = 0,690 \text{ кг} = 690 \text{ г}$.

29.6. Массаси $m_2 = 160\text{г}$ бўлган жез калориметрда ҳарорати $t_1 = 25^\circ\text{C}$ бўлган $m_1 = 400 \text{ г}$ сув бор. Унга $t_0 = 0^\circ\text{C}$ ҳароратли $m_3 = 50\text{г}$ муз ташланган. Шу муз эриб бўлгандаги сувнинг ҳарорати θ қандай бўлади? Сувнинг солиштирма иссиқлик сифими $c_1 = 4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$, жезники эса $c_2 = 380 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$ ва музнинг солиштирма эриш иссиқлиги $\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$.

Жавоб: $\theta = \frac{(c_1 m_1 + c_2 m_2) t_1 + c_1 m_3 t_0 - \lambda m_3}{c_1 m_1 + c_2 m_2 + c_2 m_3} = 13,8\text{C}$.

29.7. Ҳарорати $t_1 = 12^\circ\text{C}$ ва ҳажми $V_1 = 10 \text{ л}$ бўлган сувга эриш ҳарорати ($t_2 = 327^\circ\text{C}$) даги $m_2 = 0,5 \text{ кг}$ массали суяқ

қўрғошин қуйилганда сувнинг ҳарорати θ қанча бўлиб қолади? Сувнинг солиштира иссиқлик сифими $c_1 = 4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$, қўрғошинники $c_2 = 130 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$, қўрғошиннинг солиштира эриш иссиқлиги эса $\lambda = 25 \cdot 10^3 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$.

$$\text{Жавоб: } \theta = \frac{c_1 \rho V_1 t_1 + (\lambda + c_2 t_2) m_2}{c_1 \rho V_1 + c_2 m_2} = 13,6^\circ\text{C}.$$

29.8. Юзаси $S=1$ га (гектар) бўлган майдондаги ҳарорати $t_0 = 0$ С ва қалинлиги $h=30$ см бўлган қор қатлами эришидан ҳосил бўлган сув $t=5^\circ\text{C}$ гача исиган бўлса, у қанча Q иссиқлик миқдори ютган? Қорнинг зичлиги $\rho = 250 \text{ кг/м}^3$ ва солиштира эриш иссиқлиги $\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$.

$$\text{Жавоб: } Q = (\lambda + c(t-t_0)) \rho S h = 268 \cdot 10^9 \text{ Ж} = 268 \text{ ГЖ}.$$

29.9. $t_1 = 15^\circ\text{C}$ ҳароратли $m_1 = 250$ г сув қуйилган калориметрга $m = 20$ г ҳўл қор ташланган. Бунда калориметрдаги сувнинг ҳарорати $\theta = 10^\circ\text{C}$ бўлиб қолган бўлса, ҳўл қорнинг таркибидаги сувнинг массаси m_2 ни топинг. Сувнинг солиштира иссиқлик сифими $c_1 = 4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$, қорники $c_2 = 2090 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$, қорнинг эриш ҳарорати $t_0 = 0^\circ\text{C}$ ва солиштира эриш иссиқлиги $\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \text{ Ж/кг}$.

$$\text{Жавоб: } m_2 = \frac{m[c_1(\theta-t_0) + \lambda] - c_1 m_1 (t_1 - \theta)}{\lambda} = 6,7 \cdot 10^{-3} \text{ кг} = 6,7 \text{ г}.$$

29.10. Музга бутунлай кўмилиши учун алюминийдан ясалган кубни қандай t ҳароратгача қиздириш керак? Музнинг ҳарорати $t_0 = 0^\circ\text{C}$ ва сувнинг солиштира эриш иссиқлиги $\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \text{ Ж/кг}$, алюминийнинг солиштира иссиқлик сифими $c = 880 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$, музнинг зичлиги $\rho_0 = 920 \text{ кг/м}^3$, алюминийники эса $\rho = 2700 \text{ кг/м}^3$.

$$\text{Жавоб: } t = t_0 + \frac{\lambda}{c} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} = 128^\circ\text{C}.$$

30-§. БУҒЛАНИШ ВА КОНДЕНСАЦИЯЛАНИШ

Масалалар ечиш намуналари

i-масала. Ҳарорати $t_1 = -20^\circ\text{C}$, массаси $m = 5$ кг бўлган музни $t_2 = 100^\circ\text{C}$ ҳароратли буғга айлантириш учун қанча Q иссиқлик миқдори керак? Музнинг эриш ҳарорати $t_0 = 0^\circ\text{C}$, солиштира иссиқлик сифими $c_1 = 2090 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$ ва солиштира

эриш иссиқлиги $\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$. сувнинг солиштирма иссиқлик сифими $c_2 = 4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$, солиштирма буғланиш иссиқлиги эса $L = 22,6 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$.

Берилган: $m = 5 \text{ кг}$; $t_1 = -20^\circ\text{C}$; $t_2 = 100^\circ\text{C}$; $t_0 = 0^\circ\text{C}$; $c_1 = 2090 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$; $\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$; $c_2 = 4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$;

$L = 22,6 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$.

Топиш керак: $Q = ?$

Ечилиши. Ҳарорати t_1 бўлган музни t_2 ҳароратли буғга айлантириш учун зарур бўлган умумий иссиқлик миқдори тўртта иссиқлик миқдорларининг йиғиндисига тенг бўлади:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4.$$

бу ерда $Q_1 = c_1 m (t_0 - t_1)$ музни t_1 ҳароратдан эриш ҳарорати t_0 гача иситиш учун сарф бўладиган иссиқлик миқдори, $Q_2 = \lambda m$ музнинг яширин эриш иссиқлиги, $Q_3 = c_2 m (t_2 - t_0)$ муздан ҳосил бўлган сувни t_0 ҳароратдан t_2 ҳароратгача иситиш учун сарфланадиган иссиқлик миқдори, ниҳоят $Q_4 = Lm$ қайнаш ҳароратидаги сувнинг яширин буғланиш иссиқлиги. Бу иссиқликлар юқоридаги ўрнига қўйилиб, m масса қавсдан ташқарига чиқариб юборилса, қуйидаги ҳосил бўлади:

$$Q = m [c_1 (t_0 - t_1) + \lambda + c_2 (t_2 - t_0) + L].$$

Масалада берилган қийматлар ўрнига қўйилиб ҳисобланса, қуйидаги ҳосил бўлади:

$$Q = 5 \text{ кг} \left[2090 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}} \cdot 20^\circ\text{C} + 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}} + 4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}} \cdot 100^\circ\text{C} + 22,6 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}} \right] = 15,25 \text{ МЖ}.$$

Жавоб. $Q = 15,25 \text{ МЖ}$.

2-масала. Массаси $m_1 = 0,1 \text{ кг}$, ҳарорати $t = 20^\circ\text{C}$ бўлган эфирнинг буғланиши натижасида $t_0 = 0^\circ\text{C}$ ҳароратли музга айланиши мумкин бўлган сувнинг массаси m_2 ни топинг. Сувнинг бошланғич ҳарорати ҳам $t = 20^\circ\text{C}$ га тенг бўлган. Эфирнинг солиштирма буғланиш иссиқлиги $L = 3,8 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$, музнинг солиштирма эриш иссиқлиги $\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$, эфирнинг солиштирма иссиқлик сифими $c_1 = 2090 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$, сувники эса $c_2 = 4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$.

Берилган: $m_1 = 0,1$ кг; $t = 20^\circ\text{C}$; $t_0 = 0^\circ\text{C}$; $L = 3,8 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$;
 $\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$; $c_1 = 2090 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$; $c_2 = 4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$.

Топиш керак: $m_2 = ?$

Ечилиши. Эфирнинг буғланиши учун зарур бўлган $Q = -Lm_1$ иссиқлик миқдори эфир ва сувнинг 0°C гача совиганда чиқарилган $Q_1 = c_1 m_1 (t - t_0)$ ва $Q_2 = c_2 m_2 (t - t_0)$ иссиқлик миқдорлари билан сувнинг музлаганда чиқарилган $Q_3 = \lambda m_2$ иссиқлик миқдорининг йиғиндисига тенгдир, яъни:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad Lm_1 = c_1 m_1 (t - t_0) + c_2 m_2 (t - t_0) + \lambda m_2.$$

Бундан изланаётган сувнинг массаси:

$$m_2 = m_1 \frac{L - c_1 (t - t_0)}{\lambda + c_2 (t - t_0)} = 0,1 \text{ кг} \frac{3,8 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}} - 2090 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}} \cdot 20^\circ\text{C}}{3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}} + 4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}} \cdot 20^\circ\text{C}} =$$

$$= 0,082 \text{ кг} = 82 \text{ г.}$$

Жавоб: $m_2 = 82 \text{ г.}$

3-масала. Дьюар идишида сақланаётган ҳарорати $t_1 = -195^\circ\text{C}$ бўлган $V_1 = 2$ л суюқ азот $\tau_1 = 2$ сутка давомида бутунлай буғланиб кетди. Агар шу идишда $t_0 = 0^\circ\text{C}$ ҳароратдаги $m_2 = 80$ г музнинг $\tau_2 = 45$ соат давомида эриб кетиши маълум бўлса, азотнинг солиштирама буғланиш иссиқлиги L ни топинг. Атрофдаги ҳавонинг ҳарорати $t_2 = 20^\circ\text{C}$, суюқ азотнинг зичлиги $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$, музнинг солиштирама эриш иссиқлиги $\lambda = 3,3 \times 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$. Идишнинг иссиқлик ўтказиш тезлиги ташқи ва ички ҳароратлар фарқига пропорционалдир.

Берилган: $V_1 = 2 \text{ л} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; $m_2 = 80 \text{ г} = 8 \cdot 10^{-2} \text{ кг}$; $t_1 = -195^\circ\text{C}$; $t_2 = 20^\circ\text{C}$; $t_0 = 0^\circ\text{C}$; $\tau_1 = 2$ сутка = 48 соат; $\tau_2 = 45$ соат; $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$; $\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$.

Топиш керак: $L = ?$

Ечилиши. Суюқ азотнинг буғланиш ва музнинг эриш иссиқлик миқдорлари мос равишда қуйидагиларга тенг:

$$Q_1 = Lm_1 = L\rho V_1 \quad \text{ва} \quad Q_2 = \lambda m_2. \quad (1)$$

Бу иссиқлик миқдорлари ташқи муҳитдан олинган бўлиб, улар масаланинг шартига кўра қуйидагига тенгдир:

$$Q_1 = k(t_2 - t_1)\tau_1 \quad \text{ва} \quad Q_2 = k(t_2 - t_0)\tau_2, \quad (2)$$

бу ерда k —пропорционаллик коэффициентини. (1) ва (2) дан қуйидагини оламиз:

$$L\rho V_1 = k(t_2 - t_1)\tau_1 \quad \text{ва} \quad \lambda m_2 = k(t_2 - t_0)\tau_2.$$

Биринчи тенгликни иккинчисига бўлиб юборилса:

$$\frac{L\rho V_1}{\lambda m_2} = \frac{k(t_1 - t_1)\tau_1}{k(t_2 - t_0)\tau_2}$$

Бундан изланаётган азотнинг солиштирма буғланиш иссиқлиги L қуйидагига тенг бўлади:

$$L = \lambda \frac{m_2(t_2 - t_1)\tau_1}{\rho V_1(t_2 - t_0)\tau_2} = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}} \times \\ \times \frac{8 \cdot 10^{-2} \text{ кг}(20^\circ\text{C} + 195^\circ\text{C})48 \text{ соат}}{80 \cdot \text{кг/м}^3(20^\circ\text{C} + 0) \cdot 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot 45 \text{ соат}} = 1,89 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$$

Жавоб: $L = 1,89 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$.

Мустақил ечиш учун масалалар

30.1. $t_1 = 15^\circ\text{C}$ ҳароратли $m_1 = 1,5$ кг сув бўлган идишга $t_2 = 100^\circ\text{C}$ ҳароратли $m_2 = 200$ г сув буғи киритилди. Буғ конденсациялангандан кейин умумий ҳарорат θ қандай бўлади? Сувнинг солиштирма иссиқлик сифими $c = 4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$, солиштирма буғланиш иссиқлиги эса $L = 22,6 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$.

Жавоб: $\theta = \frac{Lm_2 + c_1(m_1t_1 + m_2t_2)}{c_1(m_1 + m_2)} = 89^\circ\text{C}$.

30.2. Ҳарорати $t_0 = 19^\circ\text{C}$ бўлган $m = 50$ кг сувни $t = 100^\circ\text{C}$ гача иситиш ва буғга айлантириш учун қанча иссиқлик миқдори Q сарф қилиш керак? Сувнинг солиштирма иссиқлик сифими $c = 4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$, солиштирма буғланиш иссиқлиги эса $L = 22,6 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$.

Жавоб: $Q = [c(t - t_0) + \lambda]m = 130 \cdot 10^6 \text{ Ж} = 130 \text{ МЖ}$.

30.3. Ҳарорати $t_1 = -20^\circ\text{C}$ бўлган $m = 5$ кг музни иситиб, уни $t_2 = 100^\circ\text{C}$ ҳароратли буғга айлантириш учун қанча иссиқлик Q сарф қилиш керак? Музнинг солиштирма иссиқлик сифими $c_1 = 2090 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$, сувники $c_2 = 4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$, музнинг эриш нуқтаси $t_0 = 0^\circ\text{C}$, музнинг солиштирма эриш иссиқлиги $\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$, сувнинг солиштирма буғланиш иссиқлиги $L = 22,6 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$.

Жавоб: $Q = [c_1(t_0 - t_1) + \lambda + c_2(t_2 - t_0) + L]m = 15,25 \cdot 10^6 \text{ Ж} = 15,25 \text{ МЖ}$.

30.4. Электр чойнакда $t_0 = 0^\circ\text{C}$ ҳароратли сув $\tau_1 = 10$ мин да қайнайди. Шундан сўнг қанча τ_2 вақт ўтгач чойнакдаги

ҳамма сув буғланиб кетади? Сувнинг солиштирма иссиқлик сифими $c = 4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$, солиштирма буғланиш иссиқлиги эса $L = 22,6 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$.

$$\text{Жавоб: } \tau_2 = \tau_1 \frac{L}{c(t - t_0)} = 54 \text{ мин.}$$

30.5. $t_1 = 16^\circ\text{C}$ ҳароратли $V_1 = 0,5$ л сув бўлган идишга киритилган $t_2 = 100^\circ\text{C}$ ҳароратли $m_2 = 75$ г буғ сувга айланган. Натижавий ҳарорат θ ни топинг. Сувнинг солиштирма иссиқлик сифими $c = 4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$, солиштирма буғланиш иссиқлиги $L = 22,6 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$ ва сувнинг зичлиги $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$.

$$\text{Жавоб: } \theta = \frac{c(\rho V_1 t_1 + m_2 t_2) + L m_2}{c(\rho V_1 + m_2)} = 97^\circ\text{C.}$$

30.6. Ҳарорати $t_0 = 20^\circ\text{C}$ бўлган ёмғир томчиси ерга урилганда буғланиб кетиши учун қандай h баландликдан тушиши керак? Ҳавонинг қаршилигини ҳисобга олманг. Сувнинг солиштирма иссиқлик сифими $c = 4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$, солиштирма буғланиш иссиқлиги $L = 22,6 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$.

$$\text{Жавоб: } h = \frac{c(t - t_0) + L}{g} = 265 \cdot 10^3 \text{ м} = 265 \text{ км.}$$

30.7. Ҳарорати $t_1 = 100^\circ\text{C}$ бўлган $m_1 = 1$ кг буғ $m_2 = 12$ кг совуқ сувли идишга юборилди. Буғ конденсацияланганидан кейин сувнинг ҳарорати $\theta = 70^\circ\text{C}$ га етди. Сувнинг бошланғич ҳарорати t_0 ни топинг. Сувнинг солиштирма иссиқлик сифими $c = 4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$, солиштирма буғланиш иссиқлиги эса $L = 22,6 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$.

$$\text{Жавоб: } t_0 = \frac{c m_2 \theta - [L + c(t_1 - \theta)] m_1}{c m_2} = 22,4^\circ\text{C.}$$

30.8. Массаси $m_1 = 200$ г бўлган мис калориметрга $t_0 = 8^\circ\text{C}$ ҳароратли $m_2 = 500$ г сув қуйилиб, унга $t = 100^\circ\text{C}$ ҳароратли $m_3 = 17$ г буғ юборилганда сувнинг ҳарорати $\theta = 28^\circ\text{C}$ бўлиб қолган. Бу тажрибадан олинган маълумотларга биноан сувнинг солиштирма буғланиш иссиқлиги L ни топинг. Буғнинг солиштирма иссиқлик сифими $c_1 = 390 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$, сувники эса $c_2 = 4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$.

$$\text{Жавоб: } L = \frac{(c_1 m_1 + c_2 m_2)(\theta - t_0) - c_2 m_3 (t - \theta)}{m_3} = 2,25 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}} = 2,25 \frac{\text{МЖ}}{\text{кг}}.$$

30.9. Ҳарорати $t_0 = 20^\circ\text{C}$, массаси $m_1 = 1$ кг бўлган сувга $t_2 = 500^\circ\text{C}$ гача қиздирилган $m_2 = 100$ г темир бўлаги ташланган. Бунда сувнинг бир қисми буғга айланиб, сувнинг охириги ҳарорати $\theta = 24^\circ\text{C}$ бўлиб қолган бўлса, буғга айланган сувнинг массаси m_3 ни топинг. Сувнинг солиштирма иссиқлик сифими $c_1 = 4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$, темирники $c_2 = 460 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$, сувнинг қайнаш ҳарорати $t = 100^\circ\text{C}$, унинг солиштирма буғланиш иссиқлиги $L = 22,6 \cdot 10^6 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$.

$$\text{Жавоб: } m_3 = \frac{c_2 m_2 (t_2 - \theta) + c_1 m_1 (\theta - t_0)}{c_1 (t - t_0) + L} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг} = 2 \text{ г.}$$

30.10. Ҳарорати $t_0 = 10^\circ\text{C}$ бўлган сув орқали $t = 100^\circ\text{C}$ ли сув буғи ўтказилди. Сувнинг ҳарорати $\theta = 50^\circ\text{C}$ га тенг бўлган пайтда буғдан ҳосил бўлган сувнинг массаси m_1 идишдаги бутун сув массаси m нинг неча процентини ташкил қилиши (яъни $\frac{m_1}{m}$) ни топинг. Сувнинг солиштирма иссиқлик сифими $c = 4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$, солиштирма буғланиш иссиқлиги эса $L = 22,6 \cdot 10^6 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$.

$$\text{Жавоб: } \frac{m_1}{m} = \frac{c(\theta - t_0)}{L + c(t - \theta)} = 0,038 = 3,8\%.$$

31. §. ЁҚИЛҒИНИНГ ИССИҚЛИК БЕРИШ ҚОБИЛИЯТИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Ҳарорати $t_1 = 25^\circ\text{C}$ бўлган $m = 10$ т чўянни эритиш учун фойдали иш коэффициентини (ФИК) $\eta = 20\%$ бўлган эритиш печида қанча m_1 массали тошқўмирни ёқиш керак? Чўяннинг эриш ҳарорати $t_2 = 1150^\circ\text{C}$, солиштирма иссиқлик сифими $c = 544 \text{ Ж/кг}\cdot\text{град}$ ва солиштирма эриш иссиқлиги $\lambda = 1,4 \cdot 10^6 \text{ Ж/кг}$. Тошқўмирнинг иссиқлик бериш қобилияти $q = 30 \text{ МЖ/кг}$.

$$\text{Берилган: } m = 10^4 \text{ кг; } t_1 = 25^\circ\text{C; } t_2 = 1150^\circ\text{C; } c = 544 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}\cdot\text{град}};$$

$$\lambda = 1,4 \cdot 10^6 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}; \eta = 0,2; q = 3 \cdot 10^7 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}.$$

Топиш керак: $m_1 = ?$

Ечилиши. Чўянни эритиш учун унга эриш ҳароратигача $Q_1 = cm(t_2 - t_1)$ иссиқлик миқдори, эриш ҳароратида эса тўлиқ эриш учун $Q_2 = \lambda m$ иссиқлик миқдори сарф қилинади. Бинобарин, чўяннинг эриши учун сарф бўладиган фойдали иссиқлик миқдори қуйидагига тенг бўлади:

$$Q_{\text{ф}} = Q_1 + Q_2 = cm(t_2 - t_1) + \lambda m.$$

Тошкўмирнинг ёнишидан ҳосил бўладиган иссиқлик миқдори

$$Q_{\text{ек}} = qm_1$$

бўлади. Эритиш печининг фойдали иш коэффициентини η фойдали иссиқлик миқдори $Q_{\text{ф}}$ ни ёқилган ёнгандан берадиган иссиқлик миқдори $Q_{\text{ек}}$ га бўлган нисбагига тенгдир, яъни

$$\eta = \frac{Q_{\text{ф}}}{Q_{\text{ек}}} = \frac{cm(t_2 - t_1) + \lambda m}{qm_1}$$

Бундан изланаётган ёқилғининг массаси m_1 ни аниқлаймиз:

$$m_1 = m \frac{c(t_2 - t_1) + \lambda}{\eta q} = 10^4 \text{ кг} \frac{544 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}} \cdot 1125^\circ\text{C} + 1,4 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}}{0,2 \cdot 3 \cdot 10^7 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}} \approx 1237 \text{ кг.}$$

Жавоб: $m_1 = 1237 \text{ кг.}$

2-масала. Ҳавонинг ҳарорати $t_1 = -8^\circ\text{C}$ бўлганда қор эри-тадиган қурилмадан оқиб чиқаётган сувнинг ҳарорати $t_2 = 3^\circ\text{C}$ бўлса, $m = 1000 \text{ кг}$ қорни эритиш учун қанча m_1 массали ўтин ёқиш керак? Қорнинг эриш ҳарорати $t_0 = 0^\circ\text{C}$, солиштирма иссиқлик сифими $c_1 = 2090 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$, сувники эса $c_2 = 4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$. Ўтиннинг иссиқлик бериш қобилияти $q = 10 \frac{\text{МЖ}}{\text{кг}}$.

Берилган: $t_1 = -8^\circ\text{C}$; $t_2 = 3^\circ\text{C}$; $t_0 = 0^\circ\text{C}$; $m = 10^3 \text{ кг}$; $\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$; $c_1 = 2090 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$; $c_2 = 4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$; $\eta = 0,3$; $q = 10^7 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$.

Топиш керак: $m_1 = ?$

Ечилиши. Қорни эритиб, уни $t_2 = 3^\circ\text{C}$ ҳароратли сувга айлантириш учун: қорни иситиш учун $Q_1 = c_1 m(t_0 - t_1)$, қорни эритиш учун $Q_2 = \lambda m$ ва ҳосил бўлган сувни иситиш учун $Q_3 = c_2 m(t_2 - t_0)$ иссиқлик миқдорларини сарфлаш керак. Бинобарин, қорни эритиб сувни ҳосил қилиш учун сарф қилинадиган фойдали иссиқлик миқдори қуйидагига тенг бўлар экан:

$$Q_{\text{ф}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = c_1 m(t_0 - t_1) + \lambda m + c_2 m(t_2 - t_0)$$

Қурилмада ёқилган ўтиндан ажралиб чиқадиغان иссиқлик миқдори эса қуйидагига тенг бўлади:

$$Q_{\text{ек}} = qm_1.$$

Биобарин, қор эритувчи қурилманинг фойдали иш коэффициенти фойдали иссиқлик миқдори Q_{Φ} ни ёқилғининг берган иссиқлик миқдори $Q_{\text{ёқ}}$ га бўлган нисбатига тенгдир:

$$\eta = \frac{Q_{\Phi}}{Q_{\text{ёқ}}} = \frac{c_1 m(t_0 - t_1) + \lambda m + c_2 m(t_2 - t_0)}{q m_1}$$

Бундан изланаётган ўтиннинг массаси m_1 қуйидагига тенг бўлади: $m_1 = m \frac{c_1(t_0 - t_1) + \lambda + c_2(t_2 - t_0)}{\eta q}$

$$= 10^3 \text{ кг} \frac{2090 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}} \cdot 8^\circ\text{C} + 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}} + 4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}} \cdot 3^\circ\text{C}}{0,3 \cdot 10^7 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}} \approx 120 \text{ кг.}$$

Жавоб: $m_1 = 120 \text{ кг.}$

3-масала. Автомобилнинг тўрт цилиндрли двигателнинг қуввати $N = 52 \text{ кВт}$. Агар автомобиль $v = 120 \text{ км/соат}$ тезлик билан ҳаракатланганда $s = 100 \text{ км}$ масофада $V = 15 \text{ л}$ бензин сарфлаган бўлса, двигателнинг фойдали иш коэффициенти η ни топинг. Бензиннинг иссиқлик бериш қобилияти $q = 46 \frac{\text{МЖ}}{\text{кг}}$, бензиннинг зичлиги $\rho = 700 \text{ кг/м}^3$.

Берилган: $N = 52 \cdot 10^3 \text{ Вт}$; $v = 120 \text{ км/соат} = \frac{100}{3} \text{ м/с}$; $s = 10^5 \text{ м}$; $V = 15 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; $q = 46 \cdot 10^6 \text{ Ж/кг}$; $\rho = 700 \text{ кг/м}^3$.

Топиш керак: $\eta = ?$

Ечилиши: Двигателнинг фойдали иш коэффициенти η унинг бажарган фойдали иши $A = N \cdot t = N \frac{s}{v}$ ни ёқилғи ёлганда ажралган иссиқлик миқдори $Q_{\text{ёқ}} = qm = q\rho V$ га бўлган нисбатига тенгдир:

$$\eta = \frac{A}{Q_{\text{ёқ}}} = \frac{Ns}{q\rho V v}, \quad (1)$$

бу ерда N —двигателнинг қуввати, s —ўтилган йўл, q —ёқилғининг иссиқлик бериш қобилияти, ρ —ёқилғининг зичлиги, V —ёқилғининг ҳажми, v —автомобилнинг ҳаракат тезлиги.

(1) ифодага берилган қийматларни қўйиб ҳисобланса:

$$\eta = \frac{Ns}{q\rho V v} = \frac{52 \cdot 10^3 \text{ Вт} \cdot 10^5 \text{ м}}{46 \cdot 10^6 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}} \cdot 700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 15 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot \frac{100}{3} \frac{\text{м}}{\text{с}}} = 0,32 = 32 \%$$

Жавоб: $\eta = 32 \%$.

Муस्ताқил ечиш учун масалалар

31.1. Спирт лампаси алангасида $m = 400$ г сув $t_0 = 16^\circ\text{C}$ дан $t = 71^\circ\text{C}$ гача иситилганда $m_1 = 10$ г спирт ёндирилган. Лампанинг фойдали иш коэффициенти η ни топинг. Сувнинг солиштирма иссиқлик сифими $c = 4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$, спиртнинг иссиқлик бериш қобилияти $q = 30$ МЖ/кг.

$$\text{Жавоб: } \eta = \frac{cm(t-t_0)}{qm_1} = 0,307 = 30,7\%.$$

31.2. Қозонда $V = 3000$ л сувни иситиш учун $m_1 = 40$ кг тошкўмир ёқилган. Агар сувнинг бошланғич ҳарорати $t_0 = 10^\circ\text{C}$ ва ўчоқнинг фойдали иш коэффициенти $\eta = 60\%$ бўлса, сув қандай t ҳароратгача исиган бўлади? Сувнинг зичлиги $\rho = 10^3$ кг/м³, солиштирма иссиқлик сифими $c = 4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$ ва тошкўмирнинг иссиқлик бериш қобилияти $q = 30$ МЖ/кг.

$$\text{Жавоб: } t = t_0 + \frac{\eta q m_1}{c \rho V} = 10^\circ\text{C} + 57^\circ\text{C} = 67^\circ\text{C}.$$

31.3. Фойдали иш коэффициенти $\eta = 40\%$ бўлган примусда ҳар $\tau_0 = 1$ мин. да $m_0 = 3$ г керосин ёнади. Шу примусда $V = 1,5$ л сувни $t_0 = 10^\circ\text{C}$ дан қайнагунча иситиш учун қанча τ вақт керак? Сувнинг зичлиги $\rho = 10^3$ кг/м³, сувнинг солиштирма иссиқлик сифими $c = 4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$ ва керосиннинг иссиқлик бериш қобилияти $q = 46,2$ МЖ/кг.

$$\text{Жавоб: } \tau = \tau_0 \frac{c \rho V (t - t_0)}{\eta q m_0} = 10,2 \text{ мин.}$$

31.4. Ҳар $V_0 = 1$ м³ газ ёнганда $Q_0 = 36$ МЖ иссиқлик ажраладиган газ горелкасида фойдаланиб чойгумдаги $V = 3$ л сувни $t_0 = 10^\circ\text{C}$ дан қайнагунча иситиш учун $V_{\text{ёқ}} = 60$ л газ сарф бўлса, шв горелканинг фойдали иш коэффициенти η қандай бўлади? Чойгумнинг иссиқлик сифими $C = 100$ Ж[°], сувнинг зичлиги $\rho = 10$ кг м³, солиштирма иссиқлик сифими эса $c = 4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$.

$$\text{Жавоб: } \eta = \frac{(c \rho V + C)(t - t_0) V_{\text{ёқ}}}{Q \cdot V_0} = 0,53 = 53\%.$$

31.5. Фойдали иш коэффициенти $\eta = 40\%$ бўлган примусда ичига $m_1 = 3$ кг сув ва $m_2 = 2$ кг муз солинган қозонни $t_0 = 0^\circ\text{C}$ дан $t = 100^\circ\text{C}$ гача иситиш учун қанча m массаги керосин ёқиш лозим? Музнинг солиштирма эриш иссиқлиги $\lambda = 3,3 \cdot 10^5$ Ж/кг, сувнинг солиштирма иссиқлик сифими $c = 4180 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$, керосиннинг иссиқлик бериш қобилияти $q = 46,2 \frac{\text{МЖ}}{\text{кг}}$.

$$\text{Жавоб: } m = \frac{c(m_1 + m_2)(t - t_0) + \lambda m_2}{\eta q} = 0,149 \text{ кг} = 149 \text{ г.}$$

31.6. Металл эритадиган печда $t_1 = -10^\circ\text{C}$ ҳароратли $m = 2$ т чўяни эритиш учун $m_1 = 75$ кг тошкўмир ёқилган. Чўянинг эриш ҳарорати $t_2 = 1150^\circ\text{C}$, унинг солиштирма иссиқлик сифими $c = 544 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$, солиштирма эриш иссиқлиги эса $\lambda = 1,4 \cdot 10^5$ Ж/кг, тошкўмирнинг иссиқлик бериш қобилияти $q = 30$ МЖ/кг. Печнинг фойдали иш коэффициентини топинг.

$$\text{Жавоб: } \eta = \frac{[c(t_2 - t_1) + \lambda]m}{qm_1} = 0,69 = 69\%.$$

31.7. Ползуовнинг ўз замонасининг энг такомиллашган биринчи буг машинасининг фойдали иш коэффициенти $\eta = 0,8\%$ эди. Шу машинанинг $N = 10$ от кучи $= 750$ Вт қувватига $\tau = 1$ соатда қанча m массали тошкўмир кетади? Тошкўмирнинг иссиқлик бериш қобилияти $q = 30$ МЖ/кг

$$\text{Жавоб: } m = \frac{N\tau}{\eta q} = 11,25 \text{ кг.}$$

31.8. Моторининг қуввати $N = 20$ кВг бўлган автомобиль $v = 72$ км/соат тезлик билан ҳаракатланганда мотор ҳар $s = 100$ км йўлга $V = 10$ л бензин сарф қилса, автомобилнинг фойдали иш коэффициенти η ни топинг. Бензиннинг зичлиги $\rho = 700$ кг/м³, иссиқлик бериш қобилияти эса $q = 46$ МЖ/кг.

$$\text{Жавоб: } \eta = \frac{Ns}{\rho V v} = 0,31 = 31\%.$$

31.9. Реактив самолёт $s = 1800$ км йўлни $v = 900$ км/соат ўзгармас тезлик билан учиб ўтиб, $m = 4000$ кг ёқилги сарфлайди. Самолёт двигателининг қуввати $N = 59$ МВт, фойдали иш коэффициенти $\eta = 23\%$. Самолёт ишлатадиган ёқилгининг иссиқлик бериш қобилияти q ни топинг.

$$\text{Жавоб: } q = \frac{Ns}{\eta m v} = 46 \cdot 10^6 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}} = 46 \frac{\text{МЖ}}{\text{кг}}.$$

31.10. Массаси $m = 4600$ кг бўлган автомобиль қиялиги $\sin \alpha = 0,025$ бўлган тепаликда юқорига қараб текис тезланувчан ҳаракатланиб $s = 200$ м масофани $\tau = 40$ с да ўтган. Агар қаршилик коэффициенти $k = 0,02$, ФИК $\eta = 20\%$ бўлса, йўлнинг шу қисмида сарф бўлган бензиннинг массаси m_1 ни топинг. Бензиннинг иссиқлик бериш қобилияти $q = 46 \frac{\text{МЖ}}{\text{кг}}$.

$$\text{Жавоб: } m_1 = \frac{mgs}{\eta q} (\sin \alpha + k \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} + \frac{zs}{gt^2}) = 70 \cdot 10^{-3} \text{ кг} = 70 \text{ г.}$$

32- §. ҲАВОНИНГ НАМЛИГИ

Масалалар ечиш намуналари

1- масала. Кечқурун ҳавонинг ҳарорати $t_1 = 18^\circ\text{C}$, нисбий намлиги $f_1 = 64\%$ бўлган. Агар кечаси ҳавонинг ҳарорати $t_2 = 4^\circ\text{C}$ гача пасайса, шудринг тушадими? Агар шудринг тушса, ҳавонинг $V = 100 \text{ м}^3$ ҳажмида конденсацияланадиган сув буғининг массаси m ни топинг. $t_1 = 18^\circ\text{C}$ ва $t_2 = 4^\circ\text{C}$ ҳароратларга мос келган тўйинган сув буғининг зичликлари мос равишда $\rho_{10} = 15,4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ ва $\rho_{20} = 6,4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$.

Берилган: $t_1 = 18^\circ\text{C}$; $t_2 = 4^\circ\text{C}$; $f_1 = 64\% = 0,64$; $V = 100 \text{ м}^3$,
 $\rho_{10} = 15,4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$; $\rho_{20} = 6,4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$.

Топиш керак: $m = ?$

Ечилиши. Олдин ҳавонинг нисбий намлиги формуласи $f_1 = \frac{\rho_1}{\rho_{10}}$ дан абсолют намлик ρ_1 ни аниқлаймиз:

$$\rho_1 = f_1 \rho_{10} = 0,64 \cdot 15,4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 9,856 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \approx 10 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Бинобарин, $\rho_1 > \rho_{20}$, яъни шудринг тушади, у ҳолда ҳавонинг берилган ҳажмида конденсацияланадиган сув миқдори:

$$m = m_1 - m_2 = \rho_1 V - \rho_{20} V = (\rho_1 - \rho_{20}) V = (10 \cdot 10^{-3} - 6,4 \times 10^{-3}) \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} 100 \text{ м}^3 = 0,36 \text{ кг} = 360 \text{ г}.$$

Жавоб. Шудринг тушиб, ҳавонинг $V = 100 \text{ м}^3$ ҳажмида $m = 360 \text{ г}$ сув буғи конденсацияланар экан.

2- масала. Ҳажми $V = 200 \text{ м}^3$ бўлган хонадаги ҳавонинг ҳарорати $t_1 = 20^\circ\text{C}$, шудринг нуқтаси эса $t_2 = 12^\circ\text{C}$. Хонадаги ҳавода бўлган сув буғининг массаси m ва ҳавонинг нисбий намлиги f_1 ни топинг. $t_1 = 20^\circ\text{C}$ ва $t_2 = 12^\circ\text{C}$ ҳароратларга мос келган тўйинган сув буғининг зичликлари

$$\rho_{10} = 17,3 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3 \text{ ва } \rho_{20} = 10,7 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3.$$

Берилган: $t_1 = 20^\circ\text{C}$; $t_2 = 12^\circ\text{C}$; $\rho_{10} = 17,3 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$; $\rho_{20} = 10,7 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$; $V = 200 \text{ м}^3$.

Топиш керак: $f_1 = ?$ $m = ?$

Ечилиши. Ҳарорати t_1 бўлган ҳавонинг абсолют намлиги ρ_1 , шудринг нуқтаси t_2 даги ҳавода бўлган тўйинган сув буғининг зичлиги ρ_{20} га тенг ($\rho_1 = \rho_{20}$) бўлади. У ҳолда ҳавонинг нисбий намлиги:

$$f_1 = \frac{\rho_1}{\rho_{10}} = \frac{\rho_{20}}{\rho_{10}} = \frac{10,7 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3}{17,3 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3} = 0,62 = 62\%.$$

Хонадаги сув буғининг массаси эса қуйидагига тенг бўлади:

$$m = \rho_1 V = \rho_{20} V = 10,7 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 200 \text{ м}^3 = 2,14 \text{ кг}.$$

Жавоб: $f_1 = 62\%$, $m = 2,14 \text{ кг}$.

3-масала. Ҳарорати $t_1 = 60^\circ\text{C}$ бўлган ҳавонинг абсолют намлиги $\rho_1 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$. Хонадаги ҳавонинг ҳарорати $t_2 = 20^\circ\text{C}$ гача пасайганда ҳавонинг абсолют намлиги ρ_2 қандай бўлади? Тўйинган сув буғининг босими t_2 ҳароратда $p_2 = 2335 \text{ Па}$, сувнинг киломоляр массаси $\mu = 18 \text{ кг/кмоль}$.

Берилган: $t_1 = 60^\circ\text{C}$; $\rho_1 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$; $t_2 = 20^\circ\text{C}$ ($T_2 = 293 \text{ К}$); $p_2 = 2335 \text{ Па}$; $\mu = 18 \text{ кг/кмоль}$; $R = 8,31 \cdot 10^3 \text{ Ж/кмоль} \cdot \text{К}$.

Топиш керак: $\rho_2 = ?$

Ечилиши. Ҳарорати t_2 бўлган хонадаги тўйинган сув буғининг зичлиги ρ_{20} ни Клапейрон—Менделеев тенгласидан осонгина аниқлаш мумкин:

$$\rho_{20} = \frac{p_2 \mu}{RT_2} = \frac{2335 \text{ Па} \cdot 18 \text{ кг/кмоль}}{8,31 \cdot 10^3 \text{ Ж/кмоль} \cdot \text{К} \cdot 293 \text{ К}} = 0,0173 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 17,3 \times 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Бинобарин, $\rho_{20} > \rho_1$ бўлганлиги учун ҳавонинг ҳарорати t_1 дан t_2 гача пасайганда ҳам ҳаводаги сув буғининг тўйиниши содир бўлмайди, натижада конденсация бошланмайди. Шунинг учун ҳам, ҳавонинг абсолют намлиги, яъни бир бирлик ҳажмдаги сув буғининг зичлиги бирдай қолади: $\rho_2 = \rho_1 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$.

Жавоб: $\rho = \rho_1 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$.

Мустақил ечиш учун масалалар

32.1. Ҳажми $V = 120 \text{ м}^3$ бўлган хонанинг $t = 15^\circ\text{C}$ ҳароратли ҳавосида нисбий намлик $t = 60\%$ ни ташкил қилади. Хона ҳавосидаги сув буғларининг массаси m ни топинг. $t = 15^\circ\text{C}$ ҳароратда тўйинган сувнинг босими $p = 12,79 \text{ мм. сим. уст.}$, сувнинг моляр массаси $\mu = 18 \text{ кг/кмоль}$.

Жавоб: $m = \frac{f_{\text{р01}} V}{RT} = 938 \cdot 10^{-3} \text{ кг} = 938 \text{ г}$.

32.2. Ҳаводаги сувнинг парциал босими $p = 14 \text{ кПа}$, ҳарорати $t = 60^\circ\text{C}$ бўлса, ҳавонинг абсолют намлиги ρ ни топинг. Сувнинг моляр массаси $\mu = 18 \text{ кг/кмоль}$.

Жавоб: $\rho = \frac{p \mu}{RT} = 91 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$.

32.3. Ташқаридан ҳарорати $t_2 = 10^\circ\text{C}$ ва нисбий намлиги $f_2 = 60\%$ бўлган $V = 2 \cdot 10^4 \text{ м}^3$ ҳажмдаги ҳавони метрополитенга $t_1 = 18^\circ\text{C}$ ҳароратда ва $t_1 = 50\%$ нисбий намлик билан юбориш учун ҳавога қандай m массали сувни буғлатиб қўшиш керак? Ҳавонинг $t_2 = 10^\circ\text{C}$ ҳароратдаги тўйинган сув буғларининг зичлиги $\rho_{02} = 9,4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$; $t_1 = 18^\circ\text{C}$ ҳароратда эса $\rho_{01} = 15,4 \times 10^{-3} \text{ кг/м}^3$.

Жавоб: $m = m_1 - m_2 = (f_1 \rho_{01} - f_2 \rho_{02}) V = 43,2 \text{ кг}$.

32.4. Ҳавонинг ҳарорати $t_1 = 18^\circ\text{C}$ бўлганда, Ламбрехт гигрометри шудринг ҳосил бўлиш ҳарорати $t_2 = 10^\circ\text{C}$ эканлигини кўрсатса, ҳавонинг нисбий намлиги f_1 қандай бўлади? Ҳавонинг t_2 ва t_1 ҳароратларидаги тўйинган сув бугларининг зичликлари мос равишда $\rho_{02} = 9,41 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ ва $\rho_{01} = 15,4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$.

$$\text{Жавоб: } f_1 = \frac{\rho_1}{\rho_{01}} = \frac{\rho_{02}}{\rho_{01}} = 0,61 = 61\%.$$

32.5. Ҳавонинг ҳарорати $t_1 = 12^\circ\text{C}$ бўлганда нисбий намлиги $f_1 = 75\%$ бўлган. Агар ҳаводаги бугнинг миқдори ўзгармай қолиб, ҳарорат $t_2 = 25^\circ\text{C}$ гача кўтарилса, нисбий намлик f_2 қандай бўлади? Ҳавонинг $t_1 = 12^\circ\text{C}$ ва $t_2 = 25^\circ\text{C}$ ҳароратларида тўйинган сув бугининг зичликлари мос равишда $\rho_{01} = 10,7 \times 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ ва $\rho_{02} = 23 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ га тенг.

$$\text{Жавоб: } f_2 = f_1 \frac{\rho_{01}}{\rho_{02}} = 0,35 = 35\%.$$

32.6. Кечкурун ҳавонинг ҳарорати $t_1 = 15^\circ\text{C}$, нисбий намлиги эса $f_1 = 64\%$ бўлган. Агар кечаси ҳавонинг ҳарорати $t_2 = 5^\circ\text{C}$ гача пасайса, шудринг тушадими? Ҳавонинг $t_1 = 15^\circ\text{C}$ ва $t_2 = 5^\circ\text{C}$ ҳароратларида тўйинган сув бугининг зичликлари мос равишда $\rho_{01} = 12,8 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ ва $\rho_{02} = 6,8 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$.

Жавоб: $\rho_1 = f_1 \rho_{01} = 8,192 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3 > \rho_{02} = 6,8 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ шудринг тушди

32.7. Қалинлиги $h = 1000 \text{ м}$, юзаси $S = 5 \text{ км}^2$ бўлган ҳаво қатламининг ҳарорати $t_1 = 20^\circ\text{C}$, нисбий намлиги $f_1 = 73\%$. Агар ҳавонинг ҳарорати $t_2 = 10^\circ\text{C}$ гача совиса, қанча m массали ёмғир ёгади. Ҳавонинг $t_1 = 20^\circ\text{C}$ ва $t_2 = 10^\circ\text{C}$ ҳароратларида тўйинган сув бугининг зичликлари мос равишда $\rho_{01} = 17,3 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ ва $\rho_{02} = 9,4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$.

$$\text{Жавоб: } m = m_1 + m_2 = (f_1 \rho_{01} - \rho_{02})V = 16,15 \cdot 10^9 \text{ кг} = 16,15 \text{ т}.$$

32.8. $t_1 = 20^\circ\text{C}$ ҳароратда хонадаги ҳавонинг нисбий намлиги $f_1 = 20\%$. Хонанинг ҳажми $V = 40 \text{ м}^3$ бўлса, нисбий намликни $f_2 = 50\%$ гача орттириш учун қанча m массали сувни буглатиш керак? Ҳавонинг $t_1 = 20^\circ\text{C}$ ҳароратдаги тўйинган сув бугининг зичлиги $\rho_{10} = 17,3 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$.

$$\text{Жавоб: } m_1 - m_2 = \rho_{01}(f_2 - f_1)V = 0,208 \text{ кг сувни буглатиш керак}.$$

32.9. $V = 50 \text{ м}^3$ ҳажмли хонадаги ҳавонинг нисбий намлиги $f_1 = 40\%$ бўлган. Агар шу хонада яна қўшимча $m = 60 \text{ г}$ сув буглатилганда ҳавонинг нисбий намлиги $f_2 = 50\%$ бўлиб қолса, унинг абсолют намлиги ρ_2 қандай бўлади?

$$\text{Жавоб: } \rho_2 = \frac{f_2}{f_2 - f_1} \cdot \frac{m}{V} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3.$$

32.10. Хонадаги ҳавонинг ҳарорати $t_1 = 30^\circ\text{C}$ бўлганда нисбий намлиги $f_1 = 80\%$ бўлган. Агар хонадаги ҳаво $t_2 = 50^\circ\text{C}$

гача иситилса, нисбий намлик f_2 қандай бўлади? Ҳавонинг $t_1 = 30^\circ\text{C}$ ва $t_2 = 50^\circ\text{C}$ ҳарораглариди тўйинган сув буғининг босимлари мос равишда $p_1 = 31,8$ мм. сим. уст. ва $p_2 = 92,5$ мм. сим. уст. ни ташкил қилади.

$$\text{Жавоб: } f_2 = f_1 \frac{p_{20}}{p_{10}} = f_1 \frac{p_{20}}{p_{20}} \cdot \frac{T_2}{T_1} = 0,29 = 29\%.$$

33-§. ТЕРМОДИНАМИКАНИНГ ФИЗИК АСОСЛАРИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Ҳажми $V_1 = 70$ м³ бўлган хонадаги ҳаво $p = 100$ кПа ўзгармас босимда $T_1 = 280$ К дан $T_2 = 300$ К гача иситилган бўлса, ҳавонинг кенгайишида бажарилган иш A_p ни топинг.

Берилган: $V_1 = 70$ м³, $p = 10^5$ Па, $T_1 = 280$ К, $T_2 = 300$ К.

Топиш керак: $A_p = ?$

Ечилиши. Ўзгармас босим ($p = \text{const}$) да газнинг кенгайишида бажарилган иш A_p қуйидаги формуладан аниқланади:

$$A_p = p(V_2 - V_1) = pV_1 \left(\frac{V_2}{V_1} - 1 \right).$$

Изобарик ($p = \text{const}$) жараён учун Гей-Люссак қонунига биноан $V_2/V_1 = T_2/T_1$ бўлганлигидан эса бажарилган иш қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\begin{aligned} A_p &= pV_1 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right) = pV_1 \frac{T_2 - T_1}{T_1} = \\ &= 10^5 \text{ Па} \cdot 70 \text{ м}^3 \frac{300 \text{ К} - 280 \text{ К}}{280 \text{ К}} = 5 \cdot 10^5 \text{ Ж} = 500 \text{ кЖ}. \end{aligned}$$

Жавоб: $A_p = 500$ кЖ.

2-масала. Массаси $m = 14$ г бўлган азот ($\mu = 28 \cdot 10^{-3}$ кг/моль) $T = 250$ К ҳароратда изотермик равишда $p_1 = 2$ атм. босимдан $p_2 = 1$ атм босимгача кенгайганда бажарилган A_T иш нимага тенг бўлади? Газнинг универсал доимийси $R = 8,31 \frac{\text{Ж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$.

Берилган: $m = 14 \cdot 10^{-2}$ кг, $\mu = 28 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, $T = 250$ К, $p_1 = 2$ атм $= 2 \cdot 10^5$ Па, $p_2 = 1$ атм. $= 1 \cdot 10^5$ Па, $R = 8,31 \frac{\text{Ж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$.

Топиш керак: $A_T = ?$

Ечилиши. Изотермик жараёнда газнинг кенгайишида бажарилган иш A_T қуйидаги формуладан аниқланади:

$$A_T = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{p_1}{p_2},$$

бундаги натурал логарифмнинг қиймати $\ln \frac{p_1}{p_2} = \ln \frac{2 \cdot 10^6 \text{ Па}}{1 \cdot 10^6 \text{ Па}} = \ln 2 = 0,693$ эканлигини назарга олиб, ҳисоблаб чиқсак:

$$A_T = 0,693 \frac{\text{м}}{\mu} RT = 0,693 \frac{14 \cdot 10^{-3} \text{ кг}}{28 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}} \cdot 8,31 \frac{\text{Ж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 250 \text{ К} = 720 \text{ Ж.}$$

Жавоб: $A_T = 720 \text{ Ж.}$

3-масала. Массаси $m = 32 \text{ г}$ бўлган кислороднинг босими ни ўзгармас ҳажм ($V = \text{const}$) да $T_1 = 273 \text{ К}$ ҳароратдан бошлаб 3 марта ($p_2/p_1 = 3$) орттириш учун системага берилган иссиқлик миқдори Q_V ни ва газнинг бажарган иши A_V ни топинг. Кислороднинг ўзгармас ҳажмдаги солиштирма иссиқлик сифими $c_v = 657 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град.}}$.

Берилган: $m = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$, $T_1 = 273 \text{ К}$, $p_2/p_1 = 3$, $c_v = 657 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град.}}$, $R = 8,31 \frac{\text{Ж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$.

Топиш керак: $Q_V = ?$ $A = ?$

Ечилиши. Ўзгармас ҳажмли жисмнинг олган иссиқлик миқдори қуйидаги формуладан аниқланади:

$$Q_V = c_v m (t_2 - t_1) = c_v m (T_2 - T_1) = c_v m T_1 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right).$$

Изохорик ($V = \text{const}$) жараён учун Шарль қонунига биноан $\frac{T_2}{T_1} = \frac{p_2}{p_1}$ бўлганлиги учун, изланаётган иссиқлик миқдори қуйидагига тенг бўлади:

$$Q_V = c_v \cdot m \cdot T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} - 1 \right) = 657 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{град.}} \times \times 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot 273 \text{ К} (3 - 1) = 11479 \text{ Ж.}$$

Изохорик ($V = \text{const}$) жараёнда $dV = 0$ бўлганлиги учун, газнинг бажарган иши $dA_V = p dV = 0$ бўлади

Жавоб: $Q_V = 11479 \text{ Ж}$; $A_V = 0$.

4-масала. Карно цикли бўйича ишлайдиган идеал иссиқлик машинаси ҳар бир циклда иситкичдан $Q_1 = 2,5 \text{ кЖ}$ иссиқлик олади. Агар иситкичнинг ҳарорати $T_1 = 400 \text{ К}$, совиткичнинг ҳарорати $T_2 = 300 \text{ К}$, бўлса, машинанинг термик фойдали иш коэффициентини η , бир циклда бажариладиган иш A ва бир циклда совиткичга бериладиган иссиқлик миқдори Q_2 топилсин

Берилган: $Q_1 = 2,5 \text{ кЖ} = 2500 \text{ Ж}$, $T_1 = 400 \text{ К}$, $T_2 = 300 \text{ К}$.

Топиш керак: $\eta = ?$, $A = ?$, $Q_2 = ?$

Ечилиши Идеал иссиқлик машинаси (яъни Карно цикли) нинг термик фойдали иш коэффициенти:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{A}{Q_1}, \quad (1)$$

бунда $A = (Q_1 - Q_2)$ иссиқлик машинасининг бир циклда бажарган фойдали иши, Q_1, Q_2 —бир циклда иситкичдан олинган ва совиткичга берилган иссиқлик миқдорлари, T_1, T_2 —иситкич ва совиткичнинг ҳароратлари (1) дан иссиқлик машинасининг термик фойдали иш коэффициенти η ни, бажарган иши A ни ва совиткичга берган иссиқлик миқдори Q_2 ни ҳисобласак:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{400 \text{ К} - 300 \text{ К}}{400 \text{ К}} = \frac{100 \text{ К}}{400 \text{ К}} = 0,25 = 25\%;$$

$$A = \eta Q_1 = 0,25 \cdot 2500 \text{ Ж} = 625 \text{ Ж};$$

$$Q_2 = Q_1 - A = 2500 \text{ Ж} - 625 \text{ Ж} = 1875 \text{ Ж}.$$

Жавоб: $\eta = 25\%$; $A = 625 \text{ Ж}$; $Q_2 = 1875 \text{ Ж}$.

Мустақил ечиш учун масалалар

33.1. Оғирлиги $P = 98 \text{ Н}$, асосининг юзи $S = 98 \text{ см}^2$ бўлган, вертикал жойлашган, ишқаланишсиз сирпанадиган поршень остида ҳаво бор Агар ҳаво ўзгармас $p = 100 \text{ кПа}$ босим остида қиздирилганда поршень $h = 20 \text{ см}$ га кўтарилган бўлса, ҳавонинг кенгайишдаги бажарган иши A_p ни топинг:

$$\text{Жавоб: } A_p = \left(p + \frac{P}{S}\right) Sh = 215,6 \text{ Ж}.$$

33.2. Массаси $m = 440 \text{ г}$ бўлган карбонат ангидрид гази ($\mu = 44 \text{ кг/кмоль}$) ни $T = 20 \text{ К}$ га изобарик ($p = \text{const}$) равишда қиздирилганда бажарилган A_p ишни топинг. Газнинг универсал доимийси $R = 8,31 \cdot 10^3 \text{ Ж/кмоль} \cdot \text{К}$.

$$\text{Жавоб: } A_p = \frac{m}{\mu} R \Delta T = 1,662 \cdot 10^3 \text{ Ж} = 1,662 \text{ кЖ}.$$

33.3. Массаси $m = 500 \text{ г}$ бўлган ҳавони ўзгармас босимда $T = 400 \text{ К}$ га қиздирилганда $A_p = 8 \cdot 10^4 \text{ Ж}$ иш бажарилган бўлса, қиздиришда сарфланган иссиқлик миқдори ΔQ_p ва ички энергиянинг ўзгариши ΔU ни топинг. Ҳавонинг ўзгармас босимидаги солиштирма иссиқлик сифими $c_p = 1 \cdot 10^3 \text{ Ж/кг} \cdot \text{К}$.

Жавоб: $\Delta Q = c_p m \Delta T = 2 \cdot 10^5 \text{ Ж} = 200 \text{ кЖ}$; $\Delta U = \Delta Q_p - A_p = 1,2 \times 10^5 \text{ Ж} = 120 \text{ кЖ}$.

33.4. Бир атомли газга ўзгармас босим ($p = \text{const}$) да $\Delta Q_p = 20 \text{ кЖ}$ иссиқлик берилган бўлса, газнинг ички энергиясининг ўзгариши ΔU ва газнинг кенгайишида бажарилган иш A_p ни топинг. Бир атомли газнинг эркинлик даражаси $i = 3$.

Жавоб: $\Delta U = \Delta Q_p \frac{i}{i+2} = 12000 \text{ Ж} = 12 \text{ кЖ}$; $A_p = \Delta Q_p \frac{2}{i+2} = 8000 \text{ Ж} = 8 \text{ кЖ}$.

33.5. Массаси $m = 2$ кг бўлган гелий ($\mu = 4$ кг/кмоль) изобарик ($p = \text{const}$) равишда $T_1 = 300$ К дан $T_2 = 400$ К гача қиздирилганда газнинг кенгайишида бажарилган иш A_p ни топинг. Газнинг универсал доимийси $R = 8,31 \cdot 10^3$ Ж/кмоль·К.

Жавоб: $A_p = \frac{m}{\mu} R(T_2 - T_1) = 4,15 \cdot 10^5$ Ж = 415 кЖ.

33.6. $p_1 = 10^5$ Па босим остида бўлган $V = 10$ л ҳажмли ҳаво икки марта ($V_2/V_1 = 2$) кенгайтирилган. Системанинг кенгайиши: а) изотермик ($T = \text{const}$); б) изобарик ($p = \text{const}$) бўлган жараёнларда бажарилган ишлар A_T , A_p ни ва охириги босимлар p_1 , p_2 ни топинг

Жавоб: а) $A_T = p_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1} = 702$ Ж; $p_2 = p_1 \frac{V_1}{V_2} = 0,5 \cdot 10^5$ Па;

б) $A_p = p_1(V_2 - V_1) = 10^3$ Ж; $p_2 = p_1 = 10^5$ Па.

33.7. Иситкичининг ҳарорати $T_1 = 400$ К, термик ФИК $\mu = 20\%$ бўлган, Карно цикли бўйича ишловчи иссиқлик машинасининг совиткичга берган иссиқлик миқдори $Q_2 = 200$ кЖ га тенг бўлса, машинанинг бир циклда бажарадиган иши A , иситкичдан оладиган иссиқлик миқдори Q_1 ва совиткичнинг ҳарорати T_2 ларни топинг.

Жавоб: $A = Q_2 \frac{\eta}{1-\eta} = 50$ кЖ; $Q_1 = \frac{Q_2}{1-\eta} = 250$ кЖ; $T_2 = T_1(1-\eta) = 320$ К.

33.8. Карно цикли бўйича ишлайдиган идеал иссиқлик машинаси ҳар бир циклда $A = 73,5$ кЖ иш бажаради. Агар иситкичнинг ҳарорати $T_1 = 373$ К, совиткичники эса $T_2 = 273$ К бўлса, машинанинг ФИК η ни, бир циклда иситкичдан олинadиган иссиқлик миқдори Q_1 ни ва бир циклда совиткичга берилadиган иссиқлик миқдори Q_2 ни топинг.

Жавоб: $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} 100\% = 26,8\%$; $Q_1 = A \frac{T_1}{T_1 - T_2} = 274,2$ кЖ;

$Q_2 = A \frac{T_2}{T_1 - T_2} = 200,6$ кЖ

33.9. Карно цикли бўйича ишловчи идеал иссиқлик машинаси иситкичдан олган $Q_1 = 6,3$ кЖ иссиқлик миқдорининг $n = 80\%$ ини совиткичга узатган бўлса, иссиқлик машинасининг ФИК η ва бир циклда бажарилган иш A нимага тенг бўлади?

Жавоб: $\eta = 1 - n = 0,2 = 20\%$; $A = Q_1(1 - n) = 1,26$ кЖ.

33.10. Карно цикли бўйича ишловчи идеал иссиқлик машинаси иситкичдан олган иссиқлик миқдорининг $n = 70\%$ ини совиткичга беради. Агар иситкичнинг ҳарорати $T_1 = 430$ К бўлса, совиткичнинг ҳарорати T_2 ни топинг.

Жавоб: $T_2 = n T_1 = 301 \text{ К}$.

33.11. Карно цикли бўйича ишловчи идеал иссиқлик машинаси иситкичининг ҳарорати $T_1 = 400 \text{ К}$, совиткичини эса $T_2 = 300 \text{ К}$. Агар иситкичининг ҳарорати $\Delta T = 200 \text{ К}$ га кўтарилса, циклнинг ФИК неча марта ортиши η_2/η_1 ни топинг.

Жавоб:
$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{(T_1 - T_2 + \Delta T) T_1}{(T_1 - T_2)(T_1 + \Delta T)} = 2 \text{ марта.}$$

33.12. Карно цикли бўйича ишловчи идеал иссиқлик машинасининг иситкичдан олган иссиқлик миқдори $Q_1 = 40 \text{ кЖ}$ бўлиб, иситкичининг ҳарорати T_1 совиткичининг ҳарорати T_2 дан уч марта катта ($T_1/T_2 = 3$) бўлса, машинанинг термик ФИК η ни ва бир циклда бажарилган иши A ни топинг.

Жавоб:
$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 0,60 = 60\%; A = Q_1 \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) = 24 \text{ кЖ.}$$

34-§. СУЮКЛИКНИНГ СИРТ ТАРАНГЛИГИ. КАПИЛЛЯРЛИК

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Кашагининг узунлиги $l = 5 \text{ см}$ бўлган симли рамкадаги совун пардаси $d = 10 \text{ см}$ га чўзилган (6.1-расм). Совун пардасининг сирт таранглик кучи F_T ни, уни чузиш учун бажарилган A ишни топинг. Совун эритмасининг сирт таранглик коэффициенти $\alpha = 0,04 \text{ Н/м}$.

Берилган: $l = 5 \text{ см} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$; $d = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$; $\alpha = 0,04 \text{ Н/м}$.
Топиш керак: $F_T = ?$ $A = ?$

Ечилиши. Сирт таранглик кучи F суюқлик сирти чегаралаган контурнинг узунлигига тўғри пропорционал бўлади. Рамканинг иккала томонида парда ҳосил бўлганлиги учун (6.1, б-расм), кашакка таъсир қилувчи таранглик кучи қуйдагига тенгдир:

$$F_T = \alpha \cdot l_{\text{ум}} = 2\alpha l, \quad (1)$$

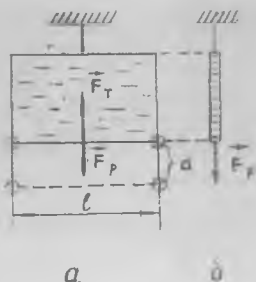
бунла l — кашакнинг узунлиги, α — сирт таранглик коэффициенти.

Сирт таранглик кучига қарши бажарилган A иш эса, бу F_T кучнинг кашакнинг силжиши d га кўпайтмасига тенгдир, яъни

$$A = Fd = 2\alpha ld. \quad (2)$$

Масалада берилган миқдорларни (1) ва (2) га қўйсак:

$$F = 2\alpha l = 2 \cdot 0,04 \frac{\text{Н}}{\text{м}} \cdot 5 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ Н.}$$



a

б

6.1-расм

$$A = 2\pi l d = 2 \cdot 0,04 \frac{\text{Н}}{\text{м}} \cdot 5 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot 0,1 \text{ м} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ Н} \cdot \text{м} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ Ж}.$$

Жавоб: $F = 4 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$; $A = 4 \cdot 10^{-4} \text{ Ж}$.

2-масала. Радиуси $R = 0,5$ мкм дан бўлган томчилар қўшилиб, $m = 1$ кг сув ҳосил бўлганда ажраладиган иссиқлик миқдори Q ни ва бу сувнинг иссиқ ҳарорати Δt ни топинг. Сувнинг зичлиги $\rho = 1 \cdot 10^3$ кг/м³, солиштирма иссиқлик сифими $c = 4,19 \cdot 10^3$ Ж/кг·град ва сирт таранглик коэффициенти $\alpha = 0,072$ Н/м.

Берилган: $R = 0,5$ мкм $= 5 \cdot 10^{-7}$ м; $m = 1$ кг; $\rho = 1 \cdot 10^3$ кг/м³; $\alpha = 72 \cdot 10^{-3}$ Н/м; $c = 4,19 \cdot 10^3$ Ж/кг. град.

Топиш керак: $Q = ?$ $\Delta t = ?$

Ечилиши. Барча томчиларнинг эркин сирт энергияси уларнинг қўшилишидан ҳосил бўлган сув сиртининг энергиясидан катта бўлади. Бу ортықча энергия қуйидагига тенгдир:

$$Q = \Delta W = \alpha \cdot \Delta S, \quad (1)$$

бунда ΔS —томчилар сирти билан улардан ҳосил бўлган сув сиртининг фарқи бўлиб, томчилар жуда кўп бўлганлиги учун, уларнинг сиртига нисбатан сувнинг сиртини назарга олмас ҳам бўлади. Шунинг учун ΔS сирт қуйидагига тенг бўлади:

$$\Delta S = nS = n4\pi R^2, \quad (2)$$

бунда n —томчилар сони; S —битта томчининг сирти, R —радиуси. Сув ҳажми $V = \frac{m}{\rho}$ нинг битта томчининг ҳажми $V_1 = \frac{4}{3} \pi R^3$ га нисбати томчилар сони n ни беради:

$$n = \frac{V}{V_1} = \frac{m/\rho}{\frac{4}{3} \pi R^3} = \frac{3m}{4\pi R^3 \rho}, \quad (3)$$

бу ерда m —сувнинг массаси, ρ —унинг зичлиги, R —томчининг радиуси. (1), (2) ва (3) формулаларга биноан томчилар қўшилганда ажраладиган иссиқлик миқдори қуйидагига тенг бўлади:

$$Q = \alpha \Delta S = \alpha n S = \alpha \frac{3m}{4\pi R^3 \rho} 4\pi R^2 = \frac{3\alpha m}{\rho R}. \quad (4)$$

Энергиянинг сақланиш қонунига биноан сувнинг исиганда оладиган иссиқлик миқдори қуйидагига тенг бўлади:

$$Q = cm\Delta t. \quad (5)$$

(4) ва (5) га асосан сувнинг иссиқ ҳарорати Δt қуйидагига тенг бўлади:

$$\Delta t = \frac{3\alpha m}{\rho c R}. \quad (6)$$

Масала шартда берилган миқдорларни (4) ва (6) га қўйиб ҳисобласак:

$$Q = \frac{3\alpha m}{\rho R} = \frac{3 \cdot 72 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м} \cdot 1 \text{ кг}}{1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}} = 4,3 \cdot 10^2 \text{ Ж.}$$

$$\Delta t = \frac{3\alpha m}{\rho c R} = \frac{3 \cdot 72 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м} \cdot 1 \text{ кг}}{1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 4,19 \cdot 10^3 \text{ Ж/кг} \cdot \text{град} \cdot 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}} \approx 0,1^\circ.$$

Жавоб: $Q = 4,3 \cdot 10^2 \text{ Ж}$. $\Delta t = 0,1^\circ$

3-масала Ички радиуси $r = 1$ мм булган сувда тўлиқ ҳўлланиладиган капилляр найчадаги сувнинг кўтарилиш баландлиги h ва бунда сирт таранглик кучининг бажарадиган иши A топилсин. Сувнинг зичлиги $\rho = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, сирт таранглик коэффициентини $\alpha = 0,072 \text{ Н/м}$ ва эркин тушиш тезланиши $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Берилган. $r = 1 \text{ мм} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $\rho = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; $\alpha = 72 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$; $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Топиш керак: $h = ?$ $A = ?$

Ечилиши. Ҳўллайдиган суюқликнинг капилляр найчада кўтарилишида сирт таранглик кучи F капилляр найчада кўтарилган суюқлик устунининг оғирлиги P билан мувозанатлашади (яъни $F = P$ бўлади) Сирт таранглик кучи $F = 2\pi r d$ булиб, бунда r —капилляр найчанинг ички радиуси, α —суюқликнинг сирт таранглик коэффициентини. Суюқлик устунининг оғирлиги $P = mg = \rho V g = \rho g \pi r^2 h$ бўлиб, бунда ρ —суюқликнинг зичлиги, g —эркин тушиш тезланиши, h —капилляр найчадаги суюқлик устунининг баландлиги. У ҳолда

$$2\pi r \alpha = \rho g \pi r^2 h,$$

бундан изланаётган h баландлик қуйидагига тенг бўлади:

$$h = \frac{2\alpha}{\rho g r}. \quad (1)$$

A ишни топиш учун F сирт таранглик кучини h баландликка кўпайтирамиз:

$$A = F \cdot h = 2\pi r \alpha \cdot \frac{2\alpha}{\rho g r} = \frac{4\alpha^2}{\rho g}. \quad (2)$$

Масала шартда берилган миқдорларни (1) ва (2) га қўйиб ҳисобласак:

$$h = \frac{2\alpha}{\rho g r} = \frac{2 \cdot 72 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}}{1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}} \approx 15 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 15 \text{ мм.}$$

$$A = \frac{4\alpha^2}{\rho g} = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot (72 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м})^2}{1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2} \approx 6,64 \cdot 10^{-6} \text{ Ж} = 6,64 \text{ мкЖ}.$$

Жавоб: $h = 15 \text{ мм}$; $A = 6,64 \text{ мкЖ}$.

Муस्ताқил ечиш учун масалалар

34.1. Ички диаметри $d = 2,9$ мм бўлган, сувда тўлиқ ҳўлланадиган капилляр найчада сув қанча баландликка кўтарилишини топинг. Сувнинг зичлиги $\rho = 1 \cdot 10^3$ кг/м³, сирт таранглик коэффициенти $a = 0,072$ Н/м ва эркин тушиш тезланиши $g = 9,8$ м/с²

$$\text{Жавоб: } h = \frac{4a}{\rho g d} = 10,2 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 10 \text{ мм.}$$

34.2. Ички радиуси $r = 0,5$ мм бўлган капилляр найчада суюқлик $h = 11$ мм баландликка кўтарилган. Агар бу суюқликнинг сирт таранглик коэффициенти $a = 0,022$ Н/м га тенг бўлса, унинг зичлигини топинг. Эркин тушиш тезланиши $g = 9,8$ м/с².

$$\text{Жавоб } \rho = \frac{2a}{g r h} = 820 \text{ кг/м}^3.$$

34.3. Диаметри $d = 0,6$ мм бўлган капилляр найда кўтарилган сувнинг массаси m ни топинг. Сувнинг сирт таранглик коэффициенти $a = 0,072$ Н/м ва эркин тушиш тезланиши $g = 9,8$ м/с².

$$\text{Жавоб: } m = \frac{a \cdot d}{g} = 4,4 \cdot 10^{-6} \text{ кг} = 4,4 \text{ мг.}$$

34.4. Ички диаметри $d = 0,15$ мм бўлган капилляр найчада этил спирти $h = 7,6$ см баландликка кўтарилган бўлса, унинг сирт таранглик коэффициенти a ни топинг. Этил спиртининг зичлиги $\rho = 790$ кг/м³ ва эркин тушиш тезланиши $g = 9,8$ м/с².

$$\text{Жавоб: } a = \frac{\rho g h a}{4} = 22 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м.}$$

34.5. Капилляр найчада керосин $h = 20$ мм баландликка кўтарилган. Найчанинг ички радиуси r ни топинг. Керосиннинг зичлиги $\rho = 800$ кг/м³, сирт таранглик коэффициенти $a = 0,024$ Н/м ва эркин тушиш тезланиши $g = 9,8$ м/с².

$$\text{Жавоб: } r = \frac{2a}{\rho g h} = 3,1 \cdot 10^{-4} \text{ м} = 0,31 \text{ мм.}$$

34.6. Сувнинг сирт таранглик коэффициентини аниқлаш учун унга ички радиуслари $r_1 = 0,25$ мм ва $r_2 = 0,5$ мм бўлган иккита капилляр найчалар туширилади. Биринчи капилляр найчадаги сув иккинчисигагидан $\Delta h = 30$ мм баландга кўтарилган бўлса, сувнинг сирт таранглик коэффициенти a ни топинг. Сувнинг зичлиги $\rho = 1 \cdot 10^3$ кг/м³ ва эркин тушиш тезланиши $g = 9,8$ м/с².

$$\text{Жавоб: } a = \frac{\rho g r_1 r_2 \Delta h}{2(r_2 - r_1)} = 0,073 \text{ Н/м.}$$

34.7. Диаметри $d = 1,8$ мм бўлган найдан керосин томиб турибди. Агар томчининг узиладиган жойининг диаметри найнинг диаметрига тенг бўлса, $V = 2$ см³ керосин неча томчи бўлади? Керосиннинг зичлиги $\rho = 800$ кг/м³, сирт таранглик коэффиценти $\alpha = 0,024$ Н/м ва эркин тушиш тезланиши $g = 9,8$ м/с².

$$\text{Жавоб: } n = \frac{\rho g V}{\pi \alpha d} = 116 \text{ томчи.}$$

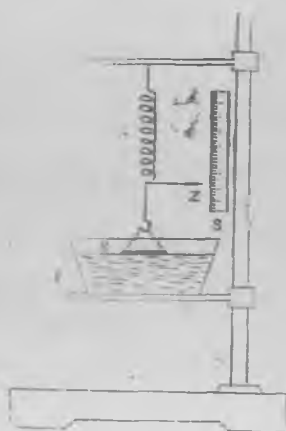
34.8. Сувнинг сирт таранглик коэффиценти аниқлаш учун ички диаметри $d = 2$ мм бўлган томизгичдан фойдаланилди. Агар $n = 40$ та томчининг массаси $m = 1,9$ г бўлса, сувнинг сирт таранглик коэффиценти α ни топинг. Эркин тушиш тезланиши $g = 9,8$ м/с².

$$\text{Жавоб: } \alpha = \frac{mg}{n\pi d} = 0,072 \text{ Н/м.}$$

34.9. Диаметрлари турлича булган иккита капилляр найча сувга туширилганда сатҳлар фарқи $\Delta h_1 = 2,6$ см бўлди. Шу найчалар спиртга туширилганда эса сатҳлар фарқи $\Delta h_2 = 1$ см булган. Агар сувнинг сирт таранглик коэффиценти $\alpha_1 = 0,072$ Н/м, зичлиги $\rho_1 = 1 \cdot 10^3$ кг/м³ ва спиртнинг зичлиги $\rho_2 = 790$ кг/м³ бўлса, спиртнинг сирт таранглик коэффиценти α_2 ни топинг.

$$\text{Жавоб: } \alpha_2 = \alpha_1 \frac{\rho_2 \Delta h_1}{\rho_1 \Delta h_2} = 0,022 \text{ Н/м.}$$

34.10. Сувнинг сирт таранглик коэффиценти аниқлаш учун ҳалқанинг сув сиртидан узилишини кузатиш усули қўлланилади: z кўрсаткичли A пружинага осилган, $d = 34$ мм диаметрли ингичка K сим ҳалқа сувли B идишга ботирилади (6.2-расм). Кўрсаткичнинг вазиятини S шкаладан белгилаб олиб, сувли идиш аста-секин пастга гуширилади. Бунда пружина чўзилади. Ҳалқанинг суюқликдан узилиши пайтида кўрсаткич вазияти яна шкаладан белгиланади. Агар бунда пружина $l = 32$ мм га чўзилган бўлса, сувнинг сирт таранглик коэффиценти топинг. Пружинанинг бикрлик коэффиценти $k = 0,5$ Н/м.



6.2-расм

$$\text{Жавоб: } \alpha = \frac{kl}{2zD} = 0,075 \text{ Н/м.}$$

Учинчи қисм

ЭЛЕКТР ВА МАГНЕТИЗМ

VII боб. ЭЛЕКТРОСТАТИКАНИНГ ФИЗИК АСОСЛАРИ

● Зарядларнинг сақланиш қонуни: ёпиқ системадаги барча зарядларнинг алгебраик йиғиндиси ўзгармасдир:

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \sum_{i=1}^n q_i = \text{const.} \quad (\text{VII.1})$$

● Икки нуқтавий заряднинг ўзаро таъсир кучи (Кулон қонуни):

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^2} \quad (\text{VII.2})$$

бунда q_1, q_2 — нуқтавий зарядлар, r — зарядлар орасидаги масофа, ϵ — муҳитнинг нисбий диэлектрик сингдирувчанлиги, ϵ_0 — электр доимийси бўлиб, унинг „СИ“ системасидаги сон қиймати қуйидагига тенгдир:

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \cdot \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2} = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2} = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}} \quad (\text{VII.3a})$$

● *Электростатик майдоннинг бирор нуқтасидаги кучланганлиги* деб майдоннинг шу нуқтасига киритилган бир birlik мусбат синов зарядига таъсир килувчи кучга миқдор жиҳатдан тенг бўлган физик катталиikka айтилади, яъни

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \text{ ёки } E = \frac{F}{q_0} \quad (\text{VII.4})$$

бунда q_0 — майдонга киритилган синов заряди.

● Нуқтавий заряд q ҳосил қилган майдоннинг бирор нуқтасидаги кучланганлиги шу q зарядга пропорционал бўлиб, заряддан нуқтагача бўлган масофа r нинг квадратига тескари пропорционалдир:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{\epsilon r^2} \quad (\text{VII.5})$$

*Майдонларнинг суперпозицияси (қўшиш) принципи*га биноан зарядлар системаси ҳосил қилган майдоннинг кучлан-

ганлиги вектори \vec{E} ҳар бир заряднинг мустақил ҳосил қилган майдони кучланганликлари $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \vec{E}_3, \dots, \vec{E}_n$ нинг геометрик (вектор) йиғиндисига тенгдир:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots + \vec{E}_n = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i. \quad (\text{VII.6})$$

● Икки q_1 ва q_2 нуқтавий заряднинг ўзаро потенциал энергияси шу зарядлар кўпайтмасига тўғри пропорционал бўлиб, зарядлар орасидаги масофа r га тесқари пропорционалдир:

$$W_n = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{\epsilon r}. \quad (\text{VII.7})$$

● *Электростатик майдоннинг* бирор нуқтасидаги *потенциали* деб шу нуқтага киритилган бир birlik мусбат синов зарядига мос келган потенциал энергияга миқдор жиҳатдан тенг бўлган физик катталиққа айтилади, яъни:

$$\varphi = \frac{W_n}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{\epsilon r}. \quad (\text{VII.8})$$

● *Синов заряди* q_0 ни майдоннинг φ_1 потенциалли бир нуқтасидан φ_2 потенциалли иккинчи нуқтасига *кўчиришда бажа-рилган иш*:

$$A = q_0(\varphi_1 - \varphi_2). \quad (\text{VII.9})$$

● Зарядлар системаси ҳосил қилган майдоннинг бирор нуқтасидаги потенциали φ ҳар бир заряднинг мустақил ҳосил қилган майдон потенциаллари $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_n$ нинг алгебраик йиғиндисига тенг:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \dots + \varphi_n = \sum_{i=1}^n \varphi_i. \quad (\text{VII.10})$$

● Бир жинсли ($\vec{E} = \text{const}$) электростатик майдоннинг кучланганлиги E миқдор жиҳатдан узунлик бирлигига мос келган потенциаллар айирмасига тенгдир:

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{l}. \quad (\text{VII.11})$$

● *Изоляцияланган ўтказгичнинг электр сиғими* C унинг потенциаллини бир birlikка ўзгартириш учун зарур бўлган зарядга миқдор жиҳатдан тенгдир:

$$C = \frac{q}{\varphi}. \quad (\text{VII.12})$$

● *Изоляцияланган шарнинг электр сиғими* радиуси R га пропорционалдир, яъни:

$$C = 4\pi\epsilon_0 R. \quad (\text{VII.13})$$

● Икки утказгичнинг ўзаро электр сиғими уларнинг потенциаллар айирмасини бир бирликка ўзгартириш учун зарур бўлган зарядга миқдор жиҳатдан тенг бўлган физик катталиқка тенгдир:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2}. \quad (\text{VII.14})$$

● Ясси конденсаторнинг электр сиғими C пластинкасининг юзи S га тўғри пропорционал бўлиб, пластинкалар орасидаги масофа d га тескари пропорционалдир, яъни:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}. \quad (\text{VII.15})$$

● Ўзаро параллел уланган конденсаторлар батареясининг электр сиғими $C_{\text{пар}}$ конденсаторлар сиғимлари C_1, C_2, \dots, C_n нинг алгебраик йиғиндисига тенг:

$$C_{\text{пар}} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n = \sum_{i=1}^n C_i. \quad (\text{VII.16})$$

● Ўзаро кетма-кет уланган конденсаторлар батареясининг электр сиғимининг тескари ифодаси $\frac{1}{C_{\text{к.к}}}$ конденсаторлар сиғимлари тескари ифодалари $\frac{1}{C_1}, \frac{1}{C_2}, \frac{1}{C_3}, \dots, \frac{1}{C_n}$ нинг алгебраик йиғиндисига тенгдир:

$$\frac{1}{C_{\text{к.к}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_m} = \sum_{i=1}^m \frac{1}{C_i}. \quad (\text{VII.17})$$

● Конденсатор қопламалари орасида ҳосил қилинган электростатик майдоннинг энергияси:

$$W_c = \frac{1}{2} C (\varphi_1 - \varphi_2)^2 = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} = \frac{1}{2} q (\varphi_1 - \varphi_2), \quad (\text{VII.18})$$

бунда C —конденсаторнинг электр сиғими, $(\varphi_1 - \varphi_2)$ —қопламалари орасидаги потенциаллар айирмаси, q —қопламалардаги заряд.

● Ясси конденсатор қопламалари орасида ҳосил қилинган бир жинсли ($\vec{E} = \text{const}$) электростатик майдоннинг энергияси:

$$W_c = \frac{\epsilon_0 \epsilon S \cdot d}{2} E^2 = \frac{\epsilon_0 \epsilon V}{2} E^2 = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{2d} (\varphi_1 - \varphi_2)^2. \quad (\text{VII.19})$$

● Бир жинсли ($\vec{E} = \text{const}$) электростатик майдон энергияси зичлиги:

$$w_c = \frac{W_c}{V} = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} = \frac{ED}{2} = \frac{\epsilon_0 \epsilon (\varphi_1 - \varphi_2)^2}{2d}, \quad (\text{VII.20})$$

бунда $D = \epsilon_0 \epsilon E$ —электростатик майдоннинг индукция вектори.

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Ҳар бирининг массаси $m = 10$ г дан булган, бир хил зарядланган иккита шарчанинг ўзаро итаришиш Кулон кучи уларнинг ўзаро тортишиш кучи билан мувозанатлашган бўлса, ҳар бир шарчадаги заряднинг миқдори q ни топинг.

$$\text{Берилган: } m = 10 \text{ г} = 10^{-2} \text{ кг; } \epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \cdot \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2};$$

$$\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2; \epsilon = 1.$$

Топиш керак: $q = ?$

Ечилиши. Шарларнинг мувозанатда бўлиш шarti Кулоннинг ўзаро таъсир кучи ва бутун олам тортишиш кучининг ўзаро тенг бўлишидан иборатдир, яъни:

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{\epsilon r^2} = \gamma \frac{m^2}{r^2}.$$

Бундан изланаётган заряд q қуйидагига тенг бўлади:

$$q = \sqrt{4\pi\epsilon_0 m^2 \gamma} = m \sqrt{4\pi\epsilon_0 \epsilon \gamma} = 10^{-2} \text{ кг} \sqrt{4\pi \cdot \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \cdot \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2} \cdot 1,667 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}} \approx 8,6 \cdot 10^{-13} \text{ Кл}.$$

Жавоб: $q = 8,6 \cdot 10^{-13}$ Кл.

2-масала. Массаси $m = 3 \cdot 10^{-3}$ кг, заряди $q_1 = 2 \cdot 10^{-8}$ Кл бўлган шарча ҳаво ($\epsilon = 1$) да ток ўтказмайдиган ингичка ипга осилган. Агар шарчадан пастда $r = 0,1$ м масофада иккинчи $q_2 = -1,5 \cdot 10^{-7}$ Кл заряд жойлаштирилган бўлса, ипнинг T таранглик кучини топинг. Оғирлик кучининг тезланиши $g = 9,8$ м/с² га тенг деб олинсин.

Берилган: $m = 3 \cdot 10^{-3}$ кг; $q_1 = 2 \cdot 10^{-8}$ Кл; $q_2 = -1,5 \cdot 10^{-7}$ Кл; $r = 0,1$ м; $\epsilon = 1$; $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \cdot \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$, $g = 9,8$ м/с².

Топиш керак: $T = ?$

Ечилиши. Ипнинг таранглик кучи иккита кучнинг—жисмининг оғирлик кучи P ва зарядларнинг тортишиш кучи F нинг йиғиндисига тенгдир: $T = P + F$. Бунда $P = mg$ ва Кулон қонунига биноан $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^2}$ бўлганлиги учун, ипнинг таранглик кучи:

$$T = mg + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^2} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 + \frac{1}{4\pi \cdot \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \cdot \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}} \cdot \frac{3 \cdot 10^{-15} \text{ Кл}^2}{1 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2} = 32,1 \cdot 10^{-3} \text{ Н} = 32,1 \text{ мН}.$$

Жавоб: $T = 32,1$ мН.



7.1-расм

дики, шарнинг P - оғирлик кучининг $F_1 = P \operatorname{tg} \alpha$ ташкил этувчиси зарядларнинг ўзаро итаришиш Кулон кучи $F_k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{\epsilon r^2}$ билан мувозанатлашади, яъни:

$$P \operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{\epsilon r^2} \quad (1)$$

Бунда α —жуда кичик бурчак бўлганлиги учун $\triangle OAB$ дан $\operatorname{tg} \alpha \approx \sin \alpha = \frac{OB}{AB} = \frac{r/2}{l} = \frac{r}{2l}$. Буни (1) га қўйилса:

$$P \cdot \frac{r}{2l} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{\epsilon r^2} \quad (2)$$

Бундан изланаётган r масофа қуйидагига тенг бўлади:

$$r = \sqrt[3]{\frac{2lq^2}{4\pi\epsilon_0\epsilon P}} = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 2 \text{ м} \cdot 25 \cdot 10^{-16} \text{ Кл}^2}{4\pi \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2} 1 \cdot 2 \cdot 10^{-2} \text{ Н}}} = 0,165 \text{ м.}$$

Жавоб: $r = 0,165 \text{ м.}$

3- масала. Ҳар бирининг оғирлиги $P = 2 \cdot 10^{-2} \text{ Н}$ дан бўлган иккита шар ҳаво ($\epsilon = 1$) да узунлиги $l = 2 \text{ м}$ дан бўлган ингичка ипак ипга осиб қўйилган. Шарлар бир хил ишорали ва тенг $q = 5 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$ зарядлар билан зарядланганда, ўзаро итаришиб, бир-биридан қандай r масофага узоқлашадими?

Берилган: $P = 2 \cdot 10^{-2} \text{ Н}$;
 $q = 5 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$; $l = 2 \text{ м}$; $\epsilon = 1$;

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$$

Топиш керак: $r = ?$

Ечилиши: Зарядланган шарлар мувозанатда бўлганда ҳар бир шарга таъсир этувчи кучларнинг геометрик йиғиндиси нолга тенг бўлиши керак. 7.1-расмдаги чизмадан кўринади,

шарнинг P - оғирлик кучининг $F_1 = P \operatorname{tg} \alpha$ ташкил этувчиси зарядларнинг ўзаро итаришиш Кулон кучи $F_k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{\epsilon r^2}$ билан мувозанатлашади, яъни:

$$P \operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{\epsilon r^2} \quad (1)$$

Бунда α —жуда кичик бурчак бўлганлиги учун $\triangle OAB$ дан $\operatorname{tg} \alpha \approx \sin \alpha = \frac{OB}{AB} = \frac{r/2}{l} = \frac{r}{2l}$. Буни (1) га қўйилса:

$$P \cdot \frac{r}{2l} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{\epsilon r^2} \quad (2)$$

Бундан изланаётган r масофа қуйидагига тенг бўлади:

$$r = \sqrt[3]{\frac{2lq^2}{4\pi\epsilon_0\epsilon P}} = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 2 \text{ м} \cdot 25 \cdot 10^{-16} \text{ Кл}^2}{4\pi \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2} 1 \cdot 2 \cdot 10^{-2} \text{ Н}}} = 0,165 \text{ м.}$$

Жавоб: $r = 0,165 \text{ м.}$

Мустақил ечиш учун масалалар

35.1. Зарядлари $q_1 = 2$ мкКл ва $q_2 = 60$ нКл булган иккита нуқтавий жисм ҳаво ($\epsilon = 1$) да $F = 9$ мН куч билан ўзаро итаришаётган бўлса, улар бир-биридан қандай r масофада жойлашган?

$$\text{Жавоб: } r = \sqrt{\frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 \epsilon F}} = 0,35 \text{ м.}$$

35.2. Мойда жойлашган иккита бир хил заряд бир-биридан $r = 6$ см масофада $F = 0,4$ мН куч билан ўзаро таъсирлашмоқда. Ҳар қайси заряднинг катталиги q ни топинг. Мойнинг нисбий диэлектрик сингдирувчанлиги $\epsilon = 2,5$.

$$\text{Жавоб: } q = r\sqrt{4\pi\epsilon_0 \epsilon F} = 20 \cdot 10^{-9} \text{ Н} = 20 \text{ нКл.}$$

35.3. Бир-биридан $r_1 = 5$ см масофада турган иккита заряд ҳаво ($\epsilon = 1$) да ўзаро $F_1 = 120$ мкН куч билан, маълум бир электр ўтказмайдиغان суоқликда эса $r_2 = 10$ см масофада ўзаро $F_2 = 15$ мкН куч билан таъсирлашади. Суоқликнинг диэлектрик сингдирувчанлиги ϵ_2 нимага тенг?

$$\text{Жавоб: } \epsilon_2 = \epsilon_1 \frac{F_1 (r_1)^2}{F_2 (r_2)^2} = 2.$$

35.4. Иккита булутнинг электр зарядлари мос равишда $q = 20$ Кл ва $q_2 = 30$ Кл. Агар булутлар орасидаги масофа $r = 30$ км бўлса, улар қандай F куч билан ўзаро таъсирлашадилар?

$$\text{Жавоб: } F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} = 6 \cdot 10^3 \text{ Н} = 6 \text{ кН.}$$

35.5. Иккита қўзғалмас $q_1 = 33$ нКл ва $q_2 = 132$ нКл зарядлар бир-биридан $r = 12$ см масофада турибди. Бу зарядлар ўзаро мувозанатда бўлиши учун бирор учинчи зарядни биринчи заряддан қандай r масофада жойлаштириш керак?

$$\text{Жавоб: } r_1 = \frac{r}{\sqrt{q_1/q_2 + 1}} = 4 \text{ см.}$$

35.6. Узунлиги $l = 20$ см бўлган ипларга осилган иккита бир хил шарча бир-бирига тегиб турибди. Шарчаларга умумий $q_0 = 0,4$ мкКл заряд берилгандан кейин, улар бир-биридан шундай узоқлашганки, бунда иплар орасидаги бурчак $\alpha = 60^\circ$ ни ташкил этган. Ҳар бир шарчанинг массаси m ни топинг.

$$\text{Жавоб: } m = \frac{q_0^2 \cos \alpha / 2}{4^2 \cdot 4\pi\epsilon_0 \epsilon \cdot l^2 \sin^3 \alpha / 2} = 1,59 \cdot 10^{-3} \text{ кг} = 1,59 \text{ г.}$$

35.7. Бир-биридан $r = 9$ см масофада жойлашган $q_1 = 0,2$ нКл ва $q_2 = 0,9$ нКл зарядлар парафин ва шишада қандай F_1 ва F_2

кучлар билан ўзаро таъсирлашади? Парафин ва шишанинг нисбий диэлектрик сингдирувчанлиги мос равишда $\epsilon_1 = 2,1$ ва $\epsilon_2 = 7,0$.

$$\text{Жавоб: } F_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{\epsilon_1 r^2} = 0,95 \text{ Н; } F_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{\epsilon_2 r^2} = 0,29 \text{ Н.}$$

35.8. Иккита заряд сувда $F_1 = 0,30$ мН куч билан ўзаро таъсирлашади. Улар органик шишада шундай масофада қандай F_2 куч билан таъсирлашади? Сувнинг нисбий диэлектрик сингдирувчанлиги $\epsilon_1 = 81$, органик шишаники эса $\epsilon_2 = 3,3$.

$$\text{Жавоб: } F_2 = F_1 \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} = 7,36 \cdot 10^{-3} \text{ Н} = 7,36 \text{ мН.}$$

35.9. Оғирлиги $P = 980$ мкН, заряди $q = 20$ нКл бўлган шарча ҳаво ($\epsilon = 1$ да) ингичка ипак ипга осилган. Ипнинг таранглик кучи T икки марта камайиши учун пастдан бу зарядга ишораси ва миқдори бир хил бўлган бошқа бир зарядни қанча r масофада жойлаштириш керак?

$$\text{Жавоб: } r = q \sqrt{\frac{2}{4\pi\epsilon_0 T}} = 8,57 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 8,57 \text{ см.}$$

35.10. Узунлиги $l = 1$ м ли ипак ипларга осилган, ҳар бирининг массаси $m = 0,25$ г дан бўлган, бир хил зарядланган иккита шарча ҳаво ($\epsilon = 1$) да бир-биридан $r = 6$ см га узоқлашган. Ҳар бир шарчанинг заряди q нимага тен?

$$\text{Жавоб: } q = r \sqrt{\frac{4\pi\epsilon_0 \epsilon r}{l}} mg = 5,4 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} = 5,4 \text{ нКл.}$$

7.8. ЭЛЕКТРОСТАТИК МАЙДОННИНГ КУЧЛАНГАНЛИГИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Бир хил $q_1 = q_2 = q = 1 \cdot 10^{-8}$ Кл зарядли нуқтавий jismlar ҳаво ($\epsilon = 1$) да бир-биридан $l = 8$ см узоқликда жойлашган. Ҳар бир заряддан бир хил $r_1 = r_2 = r = 3$ см масофада жойлашган нуқтадаги майдоннинг кучланганлиги E ни топинг. Электр доимийси $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$.

Берилган: $q_1 = q_2 = q = 1 \cdot 10^{-8}$ Кл, $l = 8 \cdot 10^{-2}$ м; $r_1 = r_2 = r = 5 \cdot 10^{-2}$ м, $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$.

Топиш керак: $E = ?$

Ечилиши. Масаланинг шартига мос келадиган чизмани чизамиз (7.2-расм). Майдон суперпозицияси (қўшиш) принципига асосан текширилаётган S нуқтадаги натижаловчи \vec{E} кучланганлик ҳар бир заряд мустақил ҳосил қилган майдон кучланганликлари \vec{E}_1 ва \vec{E}_2 нинг геометрик йиғиндисига тенгдир:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2. \quad (1)$$

Биринчи ва иккинчи зарядларнинг C нуқтада ҳосил қилган майдон кучланганликлари миқдор жиҳатдан тенг бўлиб, у қуйидаги формуладан аниқланади:

$$E_1 = E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{\epsilon r^2}. \quad (2)$$

Чизмадан кўринадики, $AB = l$, $AO = l/2$, $AC = r_1 = r_2 = r$, $OC = \sqrt{r^2 - (l/2)^2}$, $DC = 2 \times OC = 2\sqrt{r^2 - (l/2)^2}$ бўлиб, $\triangle ADC \sim \triangle CE_1E$ бўлганлиги учун:

$$\frac{DC}{AC} = \frac{E}{E_1}$$

бундан

$$E = E_1 \frac{DC}{AC} = E_1 \frac{2\sqrt{r^2 - (l/2)^2}}{r}. \quad (3)$$

(2) ни (3) га қўйиб, изланаётган кучланганликни топамиз:

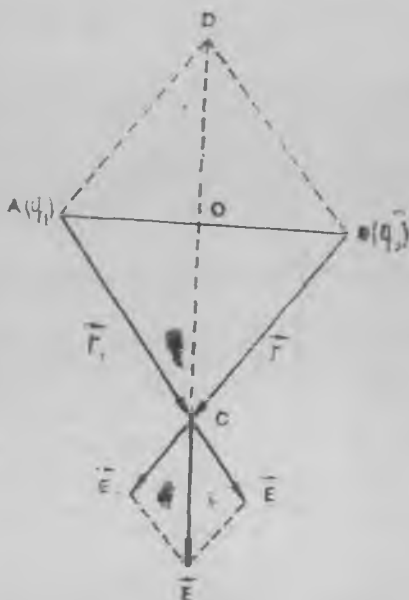
$$\begin{aligned} E &= 2 \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_0}{\epsilon r^2} \cdot \frac{\sqrt{r^2 - (l/2)^2}}{r} = \\ &= \frac{2}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}} \cdot \frac{1 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}}{25 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2} \cdot \frac{\sqrt{25 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 - 16 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2}}{5 \cdot 10^{-2} \text{ м}} \\ &= 4,32 \cdot 10^4 \frac{\text{Н}}{\text{Кл}} \left(\frac{\text{В}}{\text{м}} \right). \end{aligned}$$

Жавоб. $E = 4,32 \cdot 10^4 \text{ В/м}$.

2- масала. Математик маятник $l = 1 \text{ м}$ узунликдаги ипак ипга осилган заряди $q = 2 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$ бўлган $m = 0,1 \text{ г}$ массали шарчадан ибораг бўлиб, у куч чизиқлари юқорига вертикал йўналган $E = 9,4 \text{ кВ/м}$ кучланганликли бир жинсли майдонга жойлаштирилган. Агар шарчага таъсир этувчи куч оғирлик кучидан катта бўлса, маятник қандай T давр билан тебранади? Шу маятник $T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ давр билан тебраниши учун майдоннинг кучланганлиги E_0 қандай бўлиши керак?

Берилган: $l = 1 \text{ м}$; $m = 1 \cdot 10^{-4} \text{ кг}$; $q = 2 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$; $E = 9,4 \times 10^4 \text{ В/м}$; $T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Топиш керак: $T = ?$ $E_0 = ?$



7.2- расм



7.3- расм

Ечилиши. Шарчага электр майдон томонидан юқорига вертикал йўналган $\vec{F} = q\vec{E}$ куч таъсир қилади. Масаланинг шартига кўра шарчанинг $P = mg$ оғирлик кучи F кучга нисбатан кичик ($P < F$) бўлганлиги учун мувозанат ҳолатда шарча вертикал тортилган ипнинг юқори учига жойлашган бўлади (7.3- расм). Агар шарча эркин бўлса, F ва P кучларнинг тенг таъсир этувчиси Ньютоннинг иккинчи қонунига биноан $ma = qE - mg$ бўлиб, бундан $a = \frac{qE - mg}{m}$ тезланиш ҳам шарчанинг ҳолатига оғлиқ эмас. У ҳолда бу майдондаги маятникнинг тебраниш даврини топиш учун унинг формуласидаги g ни a билан алмаштириш керак, яъни:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{a}} = 2\pi \sqrt{\frac{ml}{qE - mg}}$$

Берилган қийматларни ўрнига қўйиб ҳисоблаб T ни топамиз:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{ml}{qE - mg}} = 2 \cdot 3,14 \sqrt{\frac{10^{-4} \text{ кг} \cdot 1 \text{ м}}{2 \cdot 10^{-8} \text{ Кл} \cdot 9,4 \cdot 10^4 \frac{\text{В}}{\text{м}} - 10^{-4} \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2}} \approx 2,09 \text{ с.}$$

Юқоридаги формулада $T = T_0$ бўлганда $a = g$ шарт бажарилиб, ундан $T_0^2 = 4\pi^2 \frac{l}{g} = 4\pi^2 \frac{ml}{qE_0 - mg}$ келиб чиқади, бундан эса E_0 ни топиш мумкин:

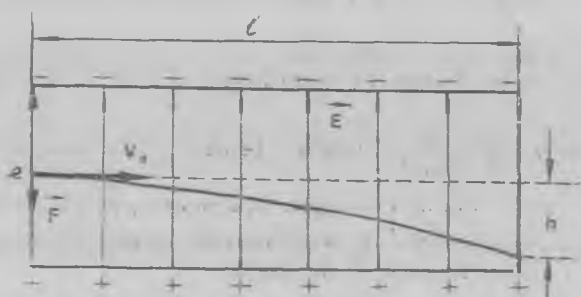
$$E_0 = \frac{2mg}{q} = \frac{2 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2}{2 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}} = 9,8 \cdot 10^4 \frac{\text{Н}}{\text{Кл}} = 9,8 \cdot 10^4 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

Жавоб: $T = 2,09 \text{ с}; E = 9,8 \cdot 10^4 \text{ В/м.}$

3- масала. Горизонтал жойлаштирилган ясси конденсатор пластинкаларига параллел йўналган электронлар оқими $l = 8 \text{ см}$ йўлда бошланғич йўналишидан $h = 4 \text{ мм}$ масофага оғган. Электронлар конденсаторга учиб пайтида қандай v_0 тезликка ва қандай $W_{\text{кин}}$ кинетик энергияга эга бўлади? Конденсатор ичидаги электр майдон кучланганлиги $E = 22,5 \text{ кВ/м}$, электроннинг массаси $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$, заряди эса $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$.

Берилган: $l = 8 \cdot 10^{-2} \text{ м}; h = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}; E = 22,5 \cdot 10^3 \text{ В/м}, m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}; e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}.$

Топиш керак: $v_0 = ?; W_{\text{кин}} = ?$



7.4-расм

Ечилиши: Конденсатор пластинкалари орасида ҳаракатланган электронга электр майдон томонидан $F = eE$ куч таъсир қилади. Бу куч пластинкаларга перпендикуляр ҳолда кучланганлик йўналишига қарама-қарши томонга йўналган, чунки электроннинг заряди манфийдир (7.4-расм). Электронга таъсир қилувчи оғирлик кучи $P = mg$ жуда кичик бўлганлиги учун уни F га нисбатан ҳисобга олмаслик мумкин.

Шундай қилиб, электрон пластинкалар бўйлаб йўналганда v_0 тезлик билан текис ҳаракатланади ва l масофани $t = \frac{l}{v_0}$ вақтда учиб ўтади. Пластинкаларга перпендикуляр равишда йўналганда эса $F = eE$ куч таъсирида $a = \frac{F}{m} = \frac{eE}{m}$ тезланиш билан текис тезланувчан ҳаракатланади. У ҳолда электрон t вақт ичида бошланғич йўналишдан $h = \frac{at^2}{2} = \frac{eE}{m} \cdot \frac{l^2}{2v_0^2}$ масофага силжийди. Бундан катод нуридаги электроннинг бошланғич тезлигини топиб, ҳисобласак:

$$v_0 = l \sqrt{\frac{eE}{2mh}} = 8 \cdot 10^{-2} \text{ м} \sqrt{\frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 22,5 \cdot 10^3 \text{ В/м}}{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}}} \approx 5,6 \cdot 10^7 \text{ м/с}$$

Электроннинг тезлиги v_0 нинг ифодасини кинетик энергия формуласига қўйиб уни топамиз:

$$\begin{aligned} W_{\text{кин}} &= \frac{mv^2}{2} = \frac{m}{2} l^2 \frac{eE}{mh} = \frac{eEl^2}{4h} = \\ &= \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 22,5 \cdot 10^3 \frac{\text{В}}{\text{м}} \cdot 64 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2}{4 \cdot 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}} = 1,44 \cdot 10^{-15} \text{ Кл} \cdot \text{В} = \\ &= 1,44 \cdot 10^{-15} \text{ Ж}. \end{aligned}$$

Жавоб: $v_0 = 5,6 \cdot 10^7 \text{ м/с}$; $W_{\text{кин}} = 1,44 \cdot 10^{-15} \text{ Ж}$.

Мустақил ечиш учун масалалар

36.1. Ҳаво ($\epsilon = 1$) даги $q = 1 \cdot 10^{-8}$ Кл заряддан қандай r масофада майдоннинг кучланганлиги $E = 30$ В/м га тенг бўлади?

Жавоб: $r = \sqrt{\frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon E}} = 0,54 \text{ м} = 54 \text{ см.}$

36.2. Майдоннинг берилган нуктасига киритилган $q_0 = 30$ нКл зарядга $F = 2,4 \cdot 10^{-6}$ Н куч таъсир этади. Мазкур нуқтадаги майдон кучланганлиги E ни топинг

Жавоб: $E = \frac{F}{q_0} = 800 \text{ Н/Кл (В/м.)}$

36.3. Кучланганлиги $E = 100$ В/м га тенг бўлган Ернинг электр майдони миқдори $q_0 = 1$ микл бўлган зарядга қандай F куч билан таъсир қилади?

Жавоб: $F = q_0 E = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ Н} = 0,1 \text{ мН.}$

36.4. Агар заряддан $r = 3$ см масофада майдоннинг кучланганлиги $E = 1,5 \cdot 10^5$ В/м га тенг бўлса, майдонни ҳосил қилган q заряднинг миқдорини топинг.

Жавоб: $q = 4\pi\epsilon_0\epsilon r^2 E = 1,5 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$

36.5. Электрон кучланганлиги $E = 10$ кВ/м бўлган майдонда қандай a тезланиш билан ҳаракатланади? Электроннинг массаси $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг, заряди $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Жавоб: $a = \frac{e}{m} E = 1,76 \cdot 10^{15} \text{ м/с}^2.$

36.6. Суюқ диэлектрикда турган $q = 4$ нКл миқдорли заряддан $r = 3$ см масофада майдоннинг кучланганлиги $E = 20$ кВ/м бўлса, диэлектрикнинг нисбий диэлектрик сингдирувчанлиги ϵ нимага тенг бўлади?

Жавоб: $\epsilon = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2 E} = 2.$

36.7. Нисбий диэлектрик сингдирувчанлиги $\epsilon = 2$ га тенг бўлган муҳитда бир-биридан $l = 5$ см масофада жойлашган $q_1 = 1 \cdot 10^{-8}$ Кл ва $q_2 = 2 \cdot 10^{-8}$ Кл миқдорли иккита заряддан мос равишда $r_1 = 3$ см ва $r_2 = 4$ см масофада турган нуқтадаги электр майдоннинг кучланганлиги E ни топинг.

Жавоб: $E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \sqrt{\frac{q_1^2}{r_1^4} + \frac{q_2^2}{r_2^4}} = 75 \text{ кВ/м.}$

36.8. Вертикал йўналган бир жиисли электр майдонда массаси $m = 1,0 \cdot 10^{-6}$ г ва заряди $q_0 = 1,4 \cdot 10^{-7}$ Кл бўлган чанг

зарраси муаллақ турган бўлса, майдоннинг кучланганлиги E ни топинг. Муҳитнинг нисбий диэлектрик сингдирувчанлиги $\epsilon = 1$.

$$\text{Жавоб: } E = \frac{P}{q_0} = \frac{mg}{q_0} = 70 \text{ В/м.}$$

36.9. Ҳаво ($\epsilon = 1$) да бир-биридан $l = 20$ см масофада жойлашган $q_1 = 2 \cdot 10^{-7}$ Кл ва $q_2 = -2 \cdot 10^{-7}$ Кл миқдорли зарядлар системаси берилган. Мусбат заряддан зарядлар марказларини бирлаштирувчи чизиқ бўйлаб $r_1 = 8$ см масофадаги электр майдоннинг кучланганлиги E ни топинг.

$$\text{Жавоб: } E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{q_1}{r_1^2} + \frac{|q_2|}{(l-r_1)^2} \right] = 31,4 \cdot 2 \cdot 10^4 \text{ В/м} = 314,2 \text{ кВ/м.}$$

36.10. Массаси $m = 0,18$ г ва моддасининг зичлиги $\rho = 1800$ кг/м³ бўлган мусбат зарядланган шарча зичлиги $\rho_0 = 900$ кг/м³ бўлган суюқ диэлектрикда муаллақ ҳолатда турибди. Диэлектрикдаги бир жинсли электр майдоннинг кучланганлиги $E = 45$ кВ/м бўлиб, юқорига вертикал йўналган. Шарчанинг заряди q_0 ни топинг.

$$\text{Жавоб: } q_0 = \frac{mg}{E} \cdot \frac{\rho - \rho_0}{\rho} = 19,6 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} = 19,6 \text{ нКл.}$$

37-§. ЭЛЕКТРОСТАТИК МАЙДОННИНГ ПОТЕНЦИАЛИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. $\varphi_1 - \varphi_2 = 2 \cdot 10^6$ В потенциаллар айирмаси билан тезлатилган электроннинг кинетик энергияси W_k ва олган тезлиги v топилсин. Электроннинг массаси $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг ва заряди $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Берилган: $\varphi_1 - \varphi_2 = 2 \cdot 10^6$ В; $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг; $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Топиш керак: $W_{кин} = ?$ $v = ?$

Ечилиши. Электроннинг электр майдонда ҳаракатланганда бажарган иши йўлнинг шаклига боғлиқ бўлмасдан, бошланғич ва охириги нуқталардаги потенциаллар айирмаси билан аниқланади, яъни $A = e(\varphi_1 - \varphi_2)$. Бу иш электрон олган кинетик энергия $W_{кин} = \frac{mv^2}{2}$ га тенг бўлади, яъни:

$$e(\varphi_1 - \varphi_2) = \frac{mv^2}{2}.$$

Бундан электроннинг кинетик энергияси ва олган тезлиги қуйидагиларга тенг бўлади:

$$W_{кин} = e(\varphi_1 - \varphi_2); \quad (1) \quad v = \sqrt{\frac{2e(\varphi_1 - \varphi_2)}{m}}. \quad (2)$$

Берилган қиймаглар (1) ва (2) га қўйилиб ҳисобланса:

$$W_{\text{кин}} = e(\varphi_1 - \varphi_2) = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 2 \cdot 10^6 \text{ В} = 3,2 \cdot 10^{-13} \text{ Ж};$$

$$v = \sqrt{\frac{2e(\varphi_1 - \varphi_2)}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 2 \cdot 10^6 \text{ В}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}}} = 8,4 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Жавоб: $W_{\text{кин}} = 3,2 \cdot 10^{-13} \text{ Ж}; v = 8,4 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$

2-масала. Иоффе ўтказган тажрибада турли ишорали зарядланган параллел пластинкалар орасидаги бир жинсли электр майдондаги чанг заррачасининг массаси $m = 10 \cdot 10^{-8} \text{ г}$ бўлган (7.5-расм). Пластинкалар орасидаги потенциаллар фарқи $\varphi_1 - \varphi_2 = 500 \text{ В}$, масофа эса $d = 10 \text{ см}$. Агар чанг заррачаси электр майдонда муаллақ турган бўлса, унинг заряди q ни топинг.

Берилган: $m = 1 \cdot 10^{-3} \text{ г} = 1 \cdot 10^{-11} \text{ кг}; d = 0,1 \text{ м}; \varphi_1 - \varphi_2 = 500 \text{ В}; g = 9,8 \text{ м/с}^2.$

Топиш керак: $q = ?$

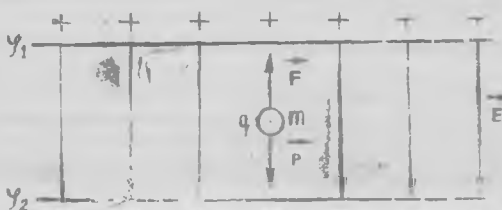
Ечилиши. 7.5-расмда тасвирлангандек, зарядланган чангга оғирлик кучи майдони $\vec{P} = mg$ куч билан, электр майдон эса $\vec{F} = q\vec{E}$ куч билан таъсир этади. Оғирлик кучи P ни мувозанатлаш учун F электр кучи тик юқорига йўналган бўлиши, яъни чанг заррачасининг заряди манфий бўлиши керак. Бир жинсли майдон учун $E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d}$ бўлиб, $F = q \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d}$ бўлади. Мувозанат шартига кўра $P = F$ бўлганлиги учун:

$$q \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d} = mg.$$

Бундан изланаётган заррачанинг заряди қуйидагига тенг бўлади:

$$q = \frac{mgd}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{1 \cdot 10^{-11} \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 0,1 \text{ м}}{500 \text{ В}} = 1,96 \cdot 10^{-14} \frac{\text{Ж}}{\text{В}} = 1,96 \cdot 10^{-14} \frac{\text{Кл} \cdot \text{В}}{\text{В}} = 1,96 \cdot 10^{-14} \text{ Кл}.$$

Жавоб: $q = 1,96 \cdot 10^{-14} \text{ Кл}.$



7.5- расм

3-масала. Ҳар бири $\varphi_0 = 25 \text{ В}$ гача зарядланган $N = 64$ та бир хил шарсимон симоб томчиларининг қўшилишидан ҳосил бўлган катта симоб томчисининг потенциали φ топилсин.

Берилган: $\varphi_0 = 25 \text{ В}; N = 64.$

Топиш керак: $\varphi = ?$

Ечилиши: Ҳар бир кичик томчининг радиуси r ва заряди q_0 бўлсин. Бир текис зарядланган шар ҳосил қилган электр майдон шар марказига жойлашган худди шундай миқдордаги нуқтавий заряднинг электр майдонидек бўлади. Бинобарин, зарядланган шарсимон томчининг сиртидаги потенциал $\varphi_0 = \frac{q_0}{4\pi\epsilon_0\epsilon r}$, томчининг заряди эса $q_0 = 4\pi\epsilon_0\epsilon r\varphi_0$ бўлади. У ҳолда N та томчидан ташкил топган R радиусли катта томчининг заряди $Q = Nq_0$ бўлади. Катта томчининг сиртидаги потенциал $\varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon R} = \frac{Nq_0}{4\pi\epsilon_0\epsilon R}$ бўлиб, юқоридан q_0 нинг ифодаси ўрнига қўйилса,

$$\varphi = \frac{N \cdot 4\pi\epsilon_0\epsilon r\varphi_0}{4\pi\epsilon_0\epsilon R} = \varphi_0 N \frac{r}{R}$$

бўлади. Бундаги $\frac{r}{R}$ нисбатни томчиларнинг ҳажмлари нисбатидан осонгина аниқланади. Катта томчининг $V_R = \frac{4}{3}\pi R^3$ ҳажми N та кичик томчининг $V_r = \frac{4}{3}\pi r^3$ ҳажми йиғиндисига тенг, яъни $\frac{4}{3}\pi R^3 = N \frac{4}{3}\pi r^3$. Бунда $\frac{r}{R} = \frac{1}{\sqrt[3]{N}}$ бўлганлиги учун катта симоб томчисининг потенциали:

$$\varphi = N\varphi_0 \frac{r}{R} = \varphi_0 \cdot \frac{N}{\sqrt[3]{N}} = 25 \text{ В} \frac{64}{\sqrt[3]{64}} = 400 \text{ В}.$$

Жавоб: $\varphi = 400 \text{ В}$.

Мустақил ечиш учун масалалар

37.1. Сувда жойлашган $q = 90 \text{ нКл}$ ли нуқтавий заряддан $r = 2 \text{ см}$ масофадаги электр майдоннинг потенциали φ ни топинг. Сувнинг нисбий диэлектрик сингдирувчанлиги $\epsilon = 81$.

Жавоб: $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{\epsilon r} = 500 \text{ В}$.

37.2. Яшин чақмоғининг узунлиги $l = 600 \text{ км}$. Агар нам ҳавода пробой $E = 1 \text{ кВ/см}$ майдон кучланганлигида содир бўлса, яшин булутлари орасидаги потенциаллар фарқи ($\varphi_1 - \varphi_2$) ни топинг.

Жавоб: $(\varphi_1 - \varphi_2) = El = 60 \cdot 10^6 \text{ В} = 60 \text{ МВ}$.

37.3. Ҳаво ($\epsilon = 1$) да жойлашган $q = 10^{-8} \text{ Кл}$ миқдорли заряддан $r = 30 \text{ см}$ масофадаги электр майдоннинг потенциали φ ни топинг.

Жавоб: $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{\epsilon r} = 30 \text{ В}$.

37.4. $q_0 = 1$ мкКл зарядни чексизликдан берилган электр майдонга кўчиришда $A = 7,5 \cdot 10^{-5}$ Ж иш бажарилган. Заряд келтирилган нуқтанинг чексизликка нисбатан потенциали φ ни топинг.

$$\text{Жавоб: } \varphi = \frac{A}{q_0} = 75 \text{ В.}$$

37.5. $q_0 = 20$ нКл ли нуқтавий зарядни $\varphi_1 = 700$ В потенциалли нуқтадан $\varphi_2 = 200$ В потенциални нуқтага кўчиришда майдоннинг бажарган иши A ни топинг.

$$\text{Жавоб: } A = q_0(\varphi_1 - \varphi_2) = 10 \cdot 10^{-6} \text{ Ж} = 10 \text{ мкЖ.}$$

37.6. Ҳаво ($\epsilon = 1$) да бир-биридан $r_2 = 40$ см масофада турган миқдори $q = 20$ нКл дан бўлган иккита бир хил зарядни $r_1 = 10$ см масофагача яқинлаштириш учун қанча A иш бажариш керак?

$$\text{Жавоб: } A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = 27 \text{ мкЖ}$$

37.7. $q_0 = 30$ нКл ли нуқтавий зарядни электр майдоннинг потенциаллари айирмаси $\varphi_1 - \varphi_2 = 1600$ В бўлган икки нуқтаси орасида кўчириш учун қандай A иш бажариш керак?

$$\text{Жавоб: } A = q_0(\varphi_1 - \varphi_2) = 48 \cdot 10^{-6} \text{ Ж} = 48 \text{ мкЖ.}$$

37.8. Ҳаво ($\epsilon = 1$) да жойлашган $q_1 = 20$ нКл ва $q_2 = 10$ нКл миқдорли зарядлардан мос равишда $r_1 = 10$ см ва $r_2 = 20$ см масофада бўлган нуқтадаги майдоннинг потенциали φ ни топинг.

$$\text{Жавоб: } \varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} \right) = 1350 \text{ В.}$$

37.9. Электрон-нур трубкасида электронлар $\varphi_1 - \varphi_2 = 8$ кВ потенциаллар фарқига эга бўлган нуқталардан ўтказиб тезлатилади. Электронлар трубканинг экранига қандай v тезлик билан урилади? Электроннинг массаси $m = 9,1 \cdot 10^{-35}$ кг, заряди эса $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

$$\text{Жавоб: } v = \sqrt{\frac{2e(\varphi_1 - \varphi_2)}{m}} = 53,0 \cdot 10^3 \text{ м/с.}$$

37.10. Электр майдоннинг таъсири остида электрон ҳаракатланиб, тезлигини $v_1 = 10$ мм/с дан $v_2 = 30$ мм/с гача оширди. Кўчишнинг бошланғич ва охириги нуқталари орасидаги $\varphi_1 - \varphi_2$ потенциаллар фарқини топинг. Электроннинг массаси $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг, заряди эса $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

$$\text{Жавоб. } \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{W_{к1} - W_{к2}}{e} = \frac{m}{2e}(v_1^2 - v_2^2) = 2,275 \cdot 10^3 \text{ В} = 2,275 \text{ кВ.}$$

37.11. Массаси $m = 10^{-8}$ г бўлган зарядланган чанг зарра-часи потенциаллар айирмаси $\varphi_1 - \varphi_2 = 5,0$ кВ бўлган иккига параллел пластинкалар орасида ҳосил бўлган бир жинсли электростатик майдонда муаллақ турибди. Агар пластинкалар орасидаги масофа $d = 5$ см бўлса, заррачанинг заряди q ни топинг.

$$\text{Жавоб: } q = \frac{P}{E} = \frac{mg}{(\varphi_1 - \varphi_2)/d} = mg \frac{d}{\varphi_1 - \varphi_2} = 9,8 \cdot 10^{-13} \text{ Кл.}$$

37.12. Потенциаллар фарқи $\varphi_1 - \varphi_2 = 0,7$ кВ бўлган иккита параллел горизонтал пластинка орасида $V = 12,7$ мкм³ ҳажмли нефть томчиси муаллақ турибди. Агар пластинкалар орасидаги масофа $d = 0,4$ см бўлса, томчининг заряди q ни топинг. Мойнинг зичлиги $\rho = 900$ кг/м³.

$$\text{Жавоб: } q = \frac{P}{E} = \frac{mgd}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{\rho g V d}{\varphi_1 - \varphi_2} = 6,4 \cdot 10^{-10} \text{ Кл.}$$

38-§. ЭЛЕКТР СИГИМИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. $U_1 = 20$ В потенциаллар фарқигача зарядланган конденсатор $C_2 = 33$ мкФ сиғимли $U_2 = 4$ В потенциаллар фарқигача зарядланган бошқа конденсатор билан параллел уланган. Агар конденсаторлар улангандан кейин уларнинг қопламаларидаги кучланиш $U = 2$ В бўлса, биринчи конденсаторнинг сиғими C_1 топилсин. Конденсаторлар ўзаро ҳар хил ишорали зарядланган қопламалари билан уланган,

Берилган: $U_1 = 20$ В; $C_2 = 33$ мкФ; $U_2 = 4$ В; $U = 2$ В.

Топиш керак: $C_1 = ?$

Ечилиши: Турли ишорали зарядланган қопламалари билан уланган конденсаторлар батареясидаги умумий заряд $q = CU$ ҳар бир конденсаторнинг $q_1 = C_1 U_1$ ва $q_2 = C_2 U_2$ зарядлар фарқига тенг. Бунда $C = C_1 + C_2$ — улангандан кейинги умумий сиғим. Шундай қилиб, агар $q_1 > q_2$ бўлса, $(C_1 + C_2)U = C_1 U_1 - C_2 U_2$ ва агар $q_2 > q_1$ бўлса, $(C_1 + C_2)U = C_2 U_2 - C_1 U_1$ бўлади. Бу тенгламаларни ечиб, биринчи ва иккинчи ҳоллар учун мос равишда қуйидаги муносабатларни оламиз:

$$C_1 = C_2 \frac{U_2 + U}{U_1 - U} \text{ ва } C_1 = C_2 \frac{U_2 - U}{U_1 + U}$$

Берилган қиймаглари ўрнига қўйиб ҳисобланса, қуйидаги натижа келиб чиқади:

$$C_1 = C_2 \frac{U_2 + U}{U_1 - U} = 33 \text{ мкФ} \frac{4\text{В} + 2\text{В}}{20\text{В} - 2\text{В}} = 33 \text{ мкФ} \frac{6\text{В}}{18\text{В}} = 11 \text{ мкФ,}$$

$$C_1 = C_2 \frac{U_2 - U}{U_1 + U} = 33 \text{ мкФ} \frac{4\text{В} - 2\text{В}}{20\text{В} + 2\text{В}} = 33 \text{ мкФ} \frac{2\text{В}}{22\text{В}} = 3 \text{ мкФ.}$$

Жавоб: Конденсаторлар зарядларининг нисбатига қараб биринчи конденсаторнинг электр сиғими $C_1 = 11$ мкФ ёки $C_1 = 3$ мкФ бўлади.

2-масала. Радиуслари $R_1 = 10$ см ва $R_2 = 5$ см бўлган, $\varphi_1 = 20$ В ва $\varphi_2 = 10$ В потенциалларгача зарядланган металл шарлар ингичка ўтказгич билан ўзаро туташтирилса, шарларда қайта тақсимланган q_1 ва q_2 зарядлар ҳамда уларнинг σ_1 ва σ_2 сирт зичликлари нимага тенг бўлади?

Берилган: $R_1 = 0,1$ м; $R_2 = 0,05$ м; $\varphi_1 = 20$ В; $\varphi_2 = 10$ В; $\varepsilon = 1$; $\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \frac{\Phi}{\text{м}} = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$.

Топиш керак: $q_1 = ?$ $q_2 = ?$ $\sigma_1 = ?$ $\sigma_2 = ?$

Ечилиши: Шарларнинг дастлабки зарядлари $q_1 = C_1 \varphi_1 = 4\pi \varepsilon_0 \varepsilon R_1 \varphi_1$, $q_2 = C_2 \varphi_2 = 4\pi \varepsilon_0 \varepsilon R_2 \varphi_2$; улангандан кейин эса $q_1 = C_2 \varphi = 4\pi \varepsilon_0 \varepsilon R_1 \varphi$, $q_2 = C_2 \varphi = 4\pi \varepsilon_0 \varepsilon R_2 \varphi$ бўлади. Шарларнинг улангандан кейинги умумий потенциали φ ни зарядларнинг сақланиш қонуни $q_1 + q_2 = q_1 + q_2$ га асосан $4\pi \varepsilon_0 \varepsilon (R_1 + R_2) \varphi = 4\pi \varepsilon_0 \varepsilon (R_1 \varphi_1 + R_2 \varphi_2)$. Келиб чиққан ифодадан у қуйидагига тенг бўлади:

$$\varphi = \frac{R_1 \varphi_1 + R_2 \varphi_2}{R_1 + R_2}$$

Уҳолда ўзаро улангандан кейин шарлардаги зарядлар қуйидагига тенг бўлади:

$$q_1 = C_1 \varphi = 4\pi \varepsilon_0 \varepsilon R_1 \frac{R_1 \varphi_1 + R_2 \varphi_2}{R_1 + R_2} = 4\pi \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \frac{\Phi}{\text{м}} \cdot 0,1 \text{ м} \frac{0,1 \text{ м} \cdot 20 \text{ В} + 0,05 \text{ м} \cdot 10 \text{ В}}{0,1 \text{ м} + 0,05 \text{ м}} = 1,85 \cdot 10^{-10} \text{ Кл},$$

$$q_2 = C_2 \varphi = 4\pi \varepsilon_0 \varepsilon R_2 \frac{R_1 \varphi_1 + R_2 \varphi_2}{R_1 + R_2} = 4\pi \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \frac{\Phi}{\text{м}} \cdot 0,05 \text{ м} \frac{0,1 \text{ м} \cdot 20 \text{ В} + 0,05 \text{ м} \cdot 10 \text{ В}}{0,1 \text{ м} + 0,05 \text{ м}} = 0,93 \cdot 10^{-10} \text{ Кл}.$$

Улангандан кейин шарлардаги зарядларнинг сирт зичликлари қуйидагиларга тенг бўлади:

$$\sigma_1 = \frac{q_1}{S_1} = \frac{4\pi \varepsilon_0 \varepsilon R_1 (R_1 \varphi_1 + R_2 \varphi_2)}{4\pi R_1^2 (R_1 + R_2)} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon (R_1 \varphi_1 + R_2 \varphi_2)}{R_1 (R_1 + R_2)} = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м} \cdot 1 \cdot (0,1 \text{ м} \cdot 20 \text{ В} + 0,05 \text{ м} \cdot 10 \text{ В})}{0,1 \text{ м} (0,1 \text{ м} + 0,05 \text{ м})} = 14,75 \cdot 10^{-10} \text{ Кл/м}^2;$$

$$\sigma_2 = \frac{q_2}{S_2} = \frac{4\pi \varepsilon_0 \varepsilon R_2 (R_1 \varphi_1 + R_2 \varphi_2)}{4\pi R_2^2 (R_1 + R_2)} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon (R_1 \varphi_1 + R_2 \varphi_2)}{R_2 (R_1 + R_2)} = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м} \cdot 1 \cdot (0,1 \text{ м} \cdot 20 \text{ В} + 0,05 \text{ м} \cdot 10 \text{ В})}{0,05 (0,1 \text{ м} + 0,05 \text{ м})} = 29 \cdot 10^{-10} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}.$$

Жавоб: $q_1 = 1,85 \cdot 10^{-10}$ Кл, $q_2 = 0,93 \cdot 10^{-10}$ Кл, $\sigma_1 = 14,75 \cdot 10^{-10}$ Кл/м², $\sigma_2 = 29 \cdot 10^{-10}$ Кл/м².

3- масала. Ясси конденсатор қопламаларининг ораси бир хил $d=0,5$ мм қалинликдаги шиша ($\epsilon_1=7$), слюда ($\epsilon_2=6$) ва парафинланган қоғоз ($\epsilon_3=2$) дан иборат диэлектриклар билан тўлдирилган. Агар конденсатор қопламаларининг юзи $S=200$ см² бўлса, конденсаторнинг электр сиғими C топилсин.

Берилган: $d=0,5$ мм $=5 \cdot 10^{-4}$ м; $S=200$ см² $=2 \cdot 10^{-2}$ м²;
 $\epsilon_1=7$, $\epsilon_2=6$, $\epsilon_3=2$; $\epsilon_0=8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

Топиш керак: $c=?$

Ечилиши. Агар ясси конденсатор қопламаларига параллел қилиб юпқа металл пластинка киритилса, у ҳолда унинг сиртларида миқдор жиҳатидан тенг қарама-қарши ишорали зарядлар индукцияланади. Шунинг учун ҳам, қопламалари орасида диэлектрик пластинкалари бўлган конденсаторнинг электр сиғими бу диэлектриклар сиртларига юпқа металл қатламлар суртилган деб фараз қилиб аниқлаш мумкин. Бу ҳолда ўзаро кетма-кет уланган конденсаторлар ҳосил бўлиб, уларнинг электр сиғимлари:

$$C_1 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_1 S}{d}; \quad C_2 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_2 S}{d}; \quad C_3 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_3 S}{d}$$

бўлгани учун, конденсаторнинг умумий электр сиғими C

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{d}{\epsilon_0 S} \left(\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} + \frac{1}{\epsilon_3} \right).$$

Бундан

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_1 \epsilon_2 \epsilon_3 S}{(\epsilon_1 \epsilon_2 + \epsilon_1 \epsilon_3 + \epsilon_2 \epsilon_3) d} =$$

$$= \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м} \cdot 7 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2}{(7 \cdot 6 + 7 \cdot 2 + 6 \cdot 2) \cdot 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}} = 4,37 \cdot 10^{-10} \text{ Ф} = 437 \text{ пФ}.$$

Жавоб: Уч хил диэлектрик қатламларидан ташкил топган бундай ясси конденсаторнинг электр сиғими $C=437$ пФ экан.

Мустақил ечиш учун масалалар

38.1. Радиуси $R=20$ см бўлган яккаланган металл шарнинг вакуум ($\epsilon_1=1$) даги ва сув ($\epsilon_2=81$) га туширилган ҳолдаги электр сиғимлари c_1 ва c_2 ларни топинг.

Жавоб: $C_1 = 4\pi\epsilon_0\epsilon_1 R = 22 \cdot 10^{-12}$ Ф $= 22$ пФ;
 $C_2 = 4\pi\epsilon_0\epsilon_2 R = 1782 \cdot 10^{-12}$ Ф $= 1782$ пФ.

38.2. Ернинг биринчи сунъий йўлдоши радиуси $R=29$ см бўлган шардан иборат бўлиб, учишла $\phi=12$ В потенциалга зарядланган бўлса, унинг сиртидаги электр заряди q ни топинг.

Жавоб: $q = C\phi = 4\pi\epsilon_0\epsilon R\phi = 3,87 \cdot 10^{-11}$ Кл.

38.3. Ер шарини яккаланган ўтказгич деб ҳисоблаб, унинг электр сиғими C ни топинг. Ернинг радиусини $R = 6400$ км деб олинг.

Жавоб: $C = 4\pi\epsilon_0\epsilon R = 710 \cdot 10^{-9} \text{ Ф} = 710 \text{ пФ}$.

38.4. Сиғимлари $C_1 = 20$ пФ ва $C_2 = 40$ пФ бўлган иккита шар мос равишда $q_1 = 800$ нКл ва $q_2 = -200$ нКл заряд билан зарядланиб, бир-бирига тегизилгандан сўнг шарларда қайта тақсимланган q'_1 , q'_2 зарядлар ва φ потенциални топинг.

Жавоб: $q'_1 = \frac{q_1 + q_2}{C_2/C_1 + 1} = 200 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} = 200 \text{ нКл}$; $q'_2 = \frac{q_1 + q_2}{C_1/C_2 + 1} = -400 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} = -400 \text{ нКл}$; $\varphi = \frac{q_1 + q_2}{C_1 + C_2} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ В} = 10 \text{ кВ}$.

38.5. Радиуслари мос равишда $R_1 = 5$ см, $R_2 = 10$ см, $R_3 = 15$ см ва зарядлари $q_1 = 200$ нКл, $q_2 = 300$ нКл, $q_3 = 500$ нКл бўлган учта металл шар ингичка сим билан уланганда шарларда қайта тақсимланган q'_1 , q'_2 , q'_3 зарядлар ва φ потенциални топинг.

Жавоб: $q'_1 = (q_1 + q_2 + q_3) \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{1}{6} \cdot 10^{-6} \text{ Кл} = \frac{1}{6} \text{ мкКл}$;
 $q'_2 = (q_1 + q_2 + q_3) \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{2}{6} \cdot 10^{-6} \text{ Кл} = \frac{1}{3} \text{ мкКл}$;
 $q'_3 = (q_1 + q_2 + q_3) \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{3}{6} \cdot 10^{-6} \text{ Кл} = \frac{1}{2} \text{ мкКл}$;
 $\varphi = \frac{q_1 + q_2 + q_3}{4\pi\epsilon_0\epsilon (R_1 + R_2 + R_3)} = 30 \cdot 10^3 \text{ В} = 30 \text{ кВ}$.

38.6. Электр сиғимлари $C_1 = 7$ мкФ ва $C_2 = 4$ мкФ бўлган кетма-кет уланган иккита конденсатор $U = 220$ В ўзгармас кучланишли манбага уланган бўлса, ҳар қайси конденсатор қисқичларидаги U_1 ва U_2 кучланишларни топинг.

Жавоб: $U_1 = U \frac{C_2}{C_1 + C_2} = 80 \text{ В}$; $U_2 = U \frac{C_1}{C_1 + C_2} = 140 \text{ В}$.

38.7. Ясси конденсатор қопламалари орасидаги бўшлиқ икки диэлектрик қатлам: $d_1 = 1$ см қалинликдаги шиша ($\epsilon_1 = 7$) ва $d_2 = 2$ см қалинликдаги парафин ($\epsilon_2 = 2$) билан тўлдирилган. Конденсатор қопламалари орасидаги потенциаллар айирмаси $U = 3000$ В. Ҳар қайси диэлектрик қатламдаги майдон кучланганликлари E_1 , E_2 ва потенциал тушувлари U_1 , U_2 топинг.

Жавоб: $E_1 = \frac{U}{d_1 + d_2\epsilon_1/\epsilon_2} = 3,75 \cdot 10^4 \text{ В/м}$; $E_2 = \frac{U}{d_1\epsilon_2/\epsilon_1 + d_2} = 13,125 \times 10^4 \text{ В/м}$; $U_1 = E_1 d_1 = U \frac{d_1}{d_1 + d_2\epsilon_1/\epsilon_2} = 375 \text{ В}$; $U_2 = E_2 d_2 = U \frac{d_2}{d_1\epsilon_2/\epsilon_1 + d_2} = 2625 \text{ В}$.

38.8. $U_1 = 600$ В кучланишда зарядланган $C_1 = 5$ мкФ электр сифимли конденсатор зарядланмаган $C_2 = 3$ мкФ электр сифимли конденсаторга параллел уланган. Батареянинг электр сифими C ва унинг қопламаларидаги потенциаллар фарқи U ни топинг.

Жавоб: $C = C_1 + C_2 = 8$ мкФ; $U = U_1 \frac{C_1}{C_1 + C_2} = 375$ В.

38.9. Ўзаро параллел уланган қопламаларининг юзи $S = 400$ см² ва оралиғи $d = 1$ мм бўлган учта конденсатордан бирининг қопламалари орасига шиша ($\epsilon_1 = 7$), иккинчисига слюда ($\epsilon_2 = 6$) ва учинчисига парафин ($\epsilon_3 = 2$) тўлдирилган. Конденсаторлар батареясининг умумий электр сифими C ни топинг.

Жавоб: $C = \frac{\epsilon_0 S}{d} (\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3) = 5310 \cdot 10^{-12}$ Ф = 5310 пФ.

38.10. Агар бошланғич тезликка эга бўлмаган электрон яси конденсаторда бир пластинкадан иккинчи пластинкага бўлган масофани ўтганда $v = 10^9$ см/с тезликка эришган бўлса, конденсатор қопламаларидаги зарядларнинг сирт зичлиги σ ни топинг. Конденсатор қопламалари орасидаги масофа $d = 3$ см, электроннинг массаси $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг, заряди эса $e = 1,6 \times 10^{-19}$ Кл.

Жавоб: $\sigma = \frac{e_0 m v^2}{2cd} = 8,4 \cdot 10^{-6}$ Кл/м².

VIII боб. ЎЗГАРМАС ТОК ҚОНУНЛАРИ

● Ток кучи — ўтказгичнинг кўндаланг кесимидан вақт бирлиги ичида ўтаётган зарядга миқдор жиҳатдан тенг бўлган физик катталиқдир:

$$I = \frac{q}{t}, [I]_{\text{СИ}} = 1 \text{ А}, \quad (\text{VIII.1})$$

бунда q — ўтказгичдан t вақтда ўтган заряд миқдори.

● Ток кучининг зичлиги — ўтказгичнинг бир бирлик кўндаланг кесимидан ўтувчи ток кучига миқдор жиҳатдан тенг бўлган физик катталиқдир:

$$j = \frac{I}{S} = en\bar{v}, [j]_{\text{СИ}} = 1 \frac{\text{А}}{\text{см}^2}. \quad (\text{VIII.2})$$

бунда $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл — электроннинг заряди, n — эркин электронларнинг концентрацияси, \bar{v} — электронларнинг майдон бўйлаб ўртача кўчиш тезлиги.

● Занжирнинг бир қисми учун Ом қонуни: Занжирдан

ўтаётган токнинг кучи унинг учларидаги кучланишга тўғри, қаршилигига эса тескари пропорционалдир, яъни:

$$I = \frac{U}{R}, R = \frac{U}{I}, U = IR, \quad (\text{VIII.3})$$

бунда $U = (\varphi_1 - \varphi_2)$ — ўтказгич учларидаги потенциаллар айирмаси ёки кучланиш, R — ўтказгичнинг қаршилиги.

● Цилиндр шаклидаги ўтказгичнинг қаршилиги R ўтказгичнинг узунлиги l га тўғри пропорционал бўлиб, кўндаланг кесим юзаси S га тескари пропорционалдир:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (\text{VIII.4})$$

бунда ρ — ўтказгичнинг солиштирма қаршилиги бўлиб, унинг сон қиймати катталиклар жадвалида берилган бўлади.

● Қизиган ўтказгичнинг қаршилиги R_t унинг 0°C ҳароратдаги қаршилиги R_0 ни термик қаршилик биноми $(1 + \alpha t)$ га кўпайтмасига тенг:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t) \text{ ёки } R_t = R_0 \frac{T}{T_0}, \quad (\text{VIII.5})$$

бунда α — ўтказгич қаршилигининг термик коэффиценти, $T_0 = 273 \text{ K}$ ва $T = (t + 273) \text{ K}$.

● Ўзаро кетма-кет уланган ўтказгичларнинг умумий қаршилиги $R_{\text{к.к.}}$ барча ўтказгичлар қаршиликлари $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ нинг алгебраик йиғиндисига тенг:

$$R_{\text{к.к.}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n = \sum_{i=1}^n R_i. \quad (\text{VIII.6})$$

Хусусий ҳолда, R_0 қаршиликли n та бир хил ўтказгичлар ўзаро кетма-кет уланганда, уларнинг умумий қаршилиги $R_{\text{к.к.}}$ қуйидагига тенг бўлади:

$$R_{\text{к.к.}} = nR_0. \quad (\text{VIII.6a})$$

● Ўзаро параллел уланган ўтказгичларнинг умумий қаршилигининг тескари ифодаси $\frac{1}{R_{\text{пар}}}$ ҳар бир ўтказгич қаршиликларининг тескари ифодалари $\frac{1}{R_1}, \frac{1}{R_2}, \frac{1}{R_3}, \dots, \frac{1}{R_m}$ нинг алгебраик йиғиндисига тенг:

$$\frac{1}{R_{\text{пар}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_m} \sum_{i=1}^m \frac{1}{R_i}. \quad (\text{VIII.7})$$

Хусусий ҳолда, R_0 қаршиликли m та бир хил ўтказгичлар ўзаро параллел уланганда, уларнинг умумий қаршилиги $R_{\text{пар}}$ қуйидагига тенг бўлади:

$$\frac{1}{R_{\text{пар}}} = \frac{m}{R_0} \text{ ёки } R_{\text{пар}} = \frac{R_0}{m}. \quad (\text{VIII.7a})$$

● Берк занжир учун Ом қонуни: занжирдан ўтаётган токнинг кучи I манбанинг ЭЮК \mathcal{E} га тўғри пропорционал бўлиб, занжирнинг умумий қаршилигига тескари пропорционалдир:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}, \quad (\text{VIII.8})$$

бунда r — манбанинг ички қаршилиги, R — эса ташқи қаршилиги.

● ЭЮК \mathcal{E}_0 ва ички қаршилиги r бўлган n та ток манбаидан ўзаро кетма-кет уланиб, ҳосил қилинган батареянинг ЭЮК $\mathcal{E}_{\text{к.к.}}$ ва ички қаршилиги $r_{\text{к.к.}}$ қуйидагига тенг бўлади:

$$\mathcal{E}_{\text{к.к.}} = n\mathcal{E}_0 \text{ ва } r_{\text{к.к.}} = nr. \quad (\text{VIII.9})$$

Агар бу батарея R қаршиликли ташқи занжирга уланса, берк занжирдан ўтаётган ток кучи I Ом қонунига биноан қуйидагига тенг бўлади:

$$I = \frac{\mathcal{E}_{\text{к.к.}}}{R + r_{\text{к.к.}}} = \frac{n\mathcal{E}_0}{R + nr}. \quad (\text{VIII.9a})$$

● ЭЮК \mathcal{E}_0 ва ички қаршилиги r бўлган m та ток манбаидан ўзаро параллел уланиб ҳосил қилинган батареянинг ЭЮК $\mathcal{E}_{\text{пар}}$ ва ички қаршилиги $r_{\text{пар}}$ қуйидагига тенг бўлади:

$$\mathcal{E}_{\text{пар}} = \mathcal{E}_0 \text{ ва } r_{\text{пар}} = \frac{r}{m}. \quad (\text{VIII.10})$$

Агар бу батарея R қаршиликли ташқи занжирга уланса, берк занжирдан ўтаётган ток кучи I Ом қонунига биноан қуйидагига тенг бўлади:

$$I = \frac{\mathcal{E}_{\text{пар}}}{R + r_{\text{пар}}} = \frac{\mathcal{E}_0}{R + r/m}. \quad (\text{VIII.10a})$$

● ЭЮК \mathcal{E}_0 ва ички қаршилиги r бўлган элементлардан n таси ўзаро кетма-кет ва m таси ўзаро параллел уланиб, аралаш уланган элементлар батареясининг ЭЮК $\mathcal{E}_{\text{ар}}$ ва ички қаршилиги $r_{\text{ар}}$ қуйидагига тенг бўлади:

$$\mathcal{E}_{\text{ар}} = n\mathcal{E}_0 \text{ ва } r_{\text{ар}} = \frac{n}{m}r. \quad (\text{VIII.11})$$

Бу элементлар батареяси R қаршиликли ташқи занжирга уланганда, берк занжирдан ўтаётган токнинг кучи I қуйидагига тенг бўлади:

$$I = \frac{\mathcal{E}_{\text{ар}}}{R + r_{\text{ар}}} = \frac{n\mathcal{E}_0}{R + \frac{n}{m}r}. \quad (\text{VIII.11a})$$

● Тармоқланган электр занжири учун Кирхгофнинг биринчи қондаси: занжирнинг ҳар қандай тугунида учрашган токларнинг алгебраик йиғиндиси нолга тенг:

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0. \quad (\text{VIII.12})$$

Бу қондани қўллашда тугунга келаётган тоқларни мусбат, кетаётганларини эса манфий ишора билан олиш қулайдир.

● Кирхгофнинг иккинчи қондаси: тармоқланган занжирнинг ихтиёрий ёпиқ контури қисмларидаги тоқларнинг мос равишда шу контурлар қаршилиқларига кўпайтмаларининг алгебраик йиғиндиси контурдаги барча ЭЮК ларнинг алгебраик йиғиндисига тенг:

$$\sum_{i=1}^n I_i R_i - \sum_{i=1}^m \mathcal{E}_i \quad (\text{VIII.13})$$

● Занжирнинг бир қисмида тоқнинг бажарган фойдали иши A_ϕ қуйидаги формуладан аниқланади:

$$A_\phi = I U t = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t; [A_\phi]_{\text{СИ}} = 1 \text{ А} \cdot \text{В} \cdot \text{с} = 1 \text{ Ж}. \quad (\text{VIII.14})$$

● Занжирнинг бир қисмида ажралган тоқнинг фойдали қуввати N_ϕ қуйидаги формуладан аниқланади:

$$N_\phi = \frac{A_\phi}{t} = I U = I^2 R = \frac{U^2}{R}; [N_\phi]_{\text{СИ}} = \left| \frac{\text{А}}{\text{т}} \right|_{\text{СИ}} = \frac{1 \text{ Ж}}{1 \text{ с}} = 1 \text{ Вт}. \quad (\text{VIII.15})$$

● Берк занжирда тоқнинг умумий бажарган иши $A_{\text{ум}}$ қуйидаги формуладан аниқланади:

$$A_{\text{ум}} = I \mathcal{E} t = I^2 (R + r) t = \frac{\mathcal{E}^2}{R + r} t. \quad (\text{VIII.16})$$

● Берк занжирда ажралган умумий қувват (тоқ манбаининг қуввати) $N_{\text{ум}}$ қуйидаги формуладан аниқланади:

$$N_{\text{ум}} = \frac{A_{\text{ум}}}{t} = I \mathcal{E} = I^2 (R + r) = \frac{\mathcal{E}^2}{R + r}. \quad (\text{VIII.17})$$

бунда \mathcal{E} — манбаининг ЭЮК, r — унинг ички қаршилиги.

● Тоқ манбаининг фойдали иш коэффициентини η бажарилган фойдали иш A_ϕ ни умумий бажарилган иш $A_{\text{ум}}$ га бўлган нисбатига тенгдир:

$$\eta = \frac{A_\phi}{A_{\text{ум}}} = \frac{R}{R + r}. \quad (\text{VIII.18})$$

● Жоуль—Ленц қонуни: занжирнинг бир қисмидан тоқ ўтганда ажралиб чиққан иссиқлик миқдори Q тоқ кучининг квадрати I^2 , занжирнинг қаршилиги R ва тоқнинг ўтиш вақти t нинг кўпайтмасига тенг:

$$Q = I^2 R t. \quad (\text{VIII.19})$$

Бу формуланинг чап томони (VIII.14) га асосан тоқ бажарган фойдали ишга тенг бўлгани учун, Жоуль—Ленц қонунини ўзаро эквивалент бўлган қуйидаги формулалар кўринишида ёзиш мумкин:

$$Q = A_\phi = I^2 R t = I U t = \frac{U^2}{R} t. \quad (\text{VIII.19a})$$

● Электролиз учун Фарадейнинг биринчи қонуни: электролиз вақтида электродларда ажралиб чиққан модда массаси m электролит орқали ўтган заряд миқдори q га тўғри пропорционалдир:

$$m = kq = kIt, \quad (\text{VIII.20})$$

бунда $q = It$ — ионларнинг t вақтда олиб ўтган заряд миқдори, k — пропорционаллик коэффициенти бўлиб, унга модданинг электрохимиявий эквиваленти дейилади.

● Электролиз учун Фарадейнинг иккинчи қонуни: барча моддаларнинг электрохимиявий эквивалентлари k уларнинг химиявий эквиваленти $\frac{A}{Z}$ га пропорционалдир:

$$k = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{Z}, \quad (\text{VIII.21})$$

бунда A — атомлар масса ёки модданинг кг-атом массаси, Z — элемент атомининг валентлиги, $\frac{A}{Z}$ — килограмм-эквивалент (кг-экв) деб аталади, F — Фарадей сони:

$$F = 96500 \frac{\text{Кл}}{\text{г-экв}} = 96500 \frac{\text{Кл}}{\text{моль}}.$$

k нинг ифодаси (VIII.21) ни (VIII.20) формулага қўйилса, Фарадей бирлашган қонунининг қуйидаги математик ифодаси келиб чиқади:

$$m = \frac{1}{F} \frac{A}{Z} q = \frac{1}{F} \frac{A}{Z} It. \quad (\text{VIII.22})$$

● Ион ёки электроннинг заряди e Фарадей сони F ни Авогадро сони N_A га бўлган нисбатига тенгдир:

$$e = \frac{F}{N_A}. \quad (\text{VIII.23})$$

39-§. ЗАНЖИРНИНГ БИР ҚИСМИ УЧУН ОМ ҚОНУНИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Кўндаланг кесими $S = 150 \text{ мм}^2$ бўлган алюминий симдан тортилган узгармас электр токи узатиш линиясининг узунлиги $l = 120 \text{ км}$. Агар узатаётган токнинг кучи $I = 160 \text{ А}$ бўлса, линиядаги кучланиш тушуви ΔU нимага тенг бўлади? Сим материалининг солиштирма қаршилиги $\rho = 2,8 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Берилган: $S = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$; $l_{\text{ум}} = 2l = 2,4 \cdot 10^5 \text{ м}$; $\rho = 2,8 \times 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$; $I = 160 \text{ А}$.

Топиш керак: $\Delta U = ?$

Ечилиши: Линиядаги кучланиш тушуви Ом қонунига би-

ноан $\Delta U = IR$ бўлиб, бунда ўтказгичнинг қаршилиги $R = \rho \frac{l_{ym}}{S}$ бўлганлиги учун,

$$\begin{aligned} \Delta U = IR &= I \rho \frac{l_{ym}}{S} = 160 \text{ А} \cdot 2,8 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м} \frac{2,4 \cdot 10^6 \text{ м}}{1,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2} = \\ &= \frac{16 \cdot 28 \cdot 24}{1,5} \text{ В} = 7168 \text{ В}. \end{aligned}$$

Жавоб: $\Delta U = 7168 \text{ В}$.

2- масала. Агар мис симнинг қаршилиги $R = 10,8 \text{ Ом}$, масаси $m = 3,41 \text{ кг}$ бўлса, унинг кўндаланг кесим юзи S ва узунлиги l топилсин. Миснинг солиштира қаршилиги $\rho = 1,7 \times 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$, зичлиги эса $D = 8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Берилган: $R = 10,8 \text{ Ом}$; $m = 3,41 \text{ кг}$; $D = 8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Топиш керак: $S = ?$, $l = ?$

Ечилиши: Ўтказгичнинг қаршилиги $R = \rho \frac{l}{S}$ формула ёрдамида ҳисобланади, бунда ρ — солиштира қаршилиги, l — узунлик, S — кўндаланг кесим юзи, жисмнинг массаси эса $m = DLS$ бўлиб, бунда D — зичлик¹.

Юқоридаги тенгламалардан $l = \frac{RS}{\rho}$ ва $S = \frac{m}{Dl}$ ифодалар келиб чиқиб, улардан ўтказгичнинг узунлиги ва кўндаланг кесимининг юзи қуйидагига тенг бўлади:

$$l = \sqrt{\frac{Rm}{\rho D}} \text{ ва } S = \sqrt{\frac{\rho m}{DR}}.$$

Берилган қийматлар ўрнига қўйилиб ҳисобланса, қуйидаги натижалар ҳосил бўлади:

$$\begin{aligned} l &= \sqrt{\frac{mR}{\rho D}} = \sqrt{\frac{3,41 \text{ кг} \cdot 10,8 \text{ Ом}}{1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м} \cdot 8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3}} = 500 \text{ м}; \\ S &= \sqrt{\frac{\rho m}{DR}} = \sqrt{\frac{1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м} \cdot 3,41 \text{ кг}}{8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 10,8 \text{ Ом}}} = \\ &= 7,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2 = 0,75 \text{ мм}^2. \end{aligned}$$

Жавоб: $l = 500 \text{ м}$; $S = 0,75 \text{ мм}^2$.

3- масала. Чўғланма лампочканинг вольфрам толасининг қаршилиги $t_1 = 20^\circ\text{C}$ ҳароратда $R_1 = 40 \text{ Ом}$. Унинг $t_0 = 0^\circ\text{C}$ ҳароратдаги R_0 қаршилиги топилсин. Агар чўғланма лампочка $U = 120 \text{ В}$ кучланишли ток манбаига уланганда толасидан $I = 0,3 \text{ А}$ ток ўтса, қизиган вольфрам толасининг қаршилиги

¹ Одатда зичлик ρ ҳарфи билан белгиланар эди, бирок бу ерда солиштира қаршилиги билан аралаштириб юбормаслик учун зичлик D ҳарфи билан белгиланди.

R_2 ва ҳарорати t_2 топилсин. Вольфрам учун қаршиликнинг ҳарорат коэффициентини $\alpha = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ град}^{-1}$.

Берилган: $t_1 = 20^\circ\text{C}$; $R_1 = 40 \text{ Ом}$; $U = 120 \text{ В}$; $I = 0,3 \text{ А}$; $\alpha = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ град}^{-1}$.

Топиш керак: $R_0 = ?$, $R_2 = ?$, $t_2 = ?$

Ечилиши: Ҳароратнинг катта бўлмаган интервалларида ўтказгичнинг қаршилиги R ҳарорат t га чизиқли боғлиқ бўлади: $R = R_0(1 + \alpha t)$, бунда R_0 — ўтказгичнинг $t_0 = 0^\circ\text{C}$ ҳароратдаги қаршилиги, α — қаршиликнинг ҳарорат коэффициентини.

У ҳолда $t_1 = 20^\circ\text{C}$ ҳароратдаги вольфрам толанинг қаршилиги $R_1 = R_0(1 + \alpha t_1)$ бўлиб, бундан:

$$R_0 = \frac{R_1}{1 + \alpha t_1} = \frac{40 \text{ Ом}}{1 + 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ град}^{-1} \cdot 20^\circ\text{C}} = \frac{40 \text{ Ом}}{1,092} = 36,63 \text{ Ом}.$$

Ом қонунига асосан ёниб турган чўғланма лампочканинг вольфрам толасининг қаршилиги қуйидагига тенг бўлади:

$$R_2 = \frac{U}{I} = \frac{120 \text{ В}}{0,3 \text{ А}} = 400 \text{ Ом}.$$

Қизиган толанинг қаршилиги $R_2 = R_0(1 + \alpha t_2)$ бўлиб, ундан толанинг ҳарорати:

$$t_2 = \frac{R_2 - R_0}{\alpha R_0} = \frac{400 \text{ Ом} - 36,63 \text{ Ом}}{4,6 \cdot 10^{-3} \text{ град}^{-1} \cdot 36,63 \text{ Ом}} = 2157^\circ\text{C}.$$

Жавоб: $R_0 = 36,63 \text{ Ом}$; $R_2 = 400 \text{ Ом}$; $t_2 = 2157^\circ\text{C}$.

4-масала. Кўндаланг кесими юзи $S = 0,5 \text{ см}^2$ бўлган ўтказгичдан $I = 3 \text{ А}$ ток ўтади. Агар бу металлдаги эркин электронларнинг концентрацияси $n = 4 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$ бўлса, электронлар дрейфининг ўртача тезлиги $v_{\text{др}}$ топилсин. Электроннинг заряди $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$.

Берилган: $I = 3 \text{ А}$; $S = 0,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$; $n = 4 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$; $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$.

Топиш керак: $v_{\text{др}} = ?$

Ечилиши. Металларнинг электрон ўтказувчанлиги назариясига асосан, ўтказгичдан ўтаётган электр токининг зичлиги $j = \frac{I}{S}$ металллардаги эркин электронларнинг заряди e , концентрацияси n ва электронлар дрейфининг ўртача тезлиги $v_{\text{др}}$ нинг ўзаро кўпайтмасига тенгдир: $j = env_{\text{др}}$. Бундан электронлар дрейфининг ўртача тезлиги қуйидагига тенг бўлади

$$v_{\text{др}} = \frac{j}{en} = \frac{I}{enS} = \frac{3 \text{ А}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 4 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3} \cdot 0,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2} = 0,94 \cdot 10^{-4} \text{ м/с} = 94 \text{ мкм/с}.$$

Жавоб: $v_{\text{др}} = 94 \text{ мкм/с}$.

Мустақил ечиш учун масалалар

39.1. Электр сиғими $C = 200$ мкФ бўлган конденсатор $t = 0,5$ с вақт ичида $U = 600$ В кучланишгача зарядланган бўлса, зарядланиш токи кучининг ўртача қиймати $I_{\text{ўрт}}$ ни топинг.

Жавоб: $I_{\text{ўрт}} = \frac{CU}{t} = 24 \cdot 10^{-2} \text{ А} = 0,24 \text{ А}.$

39.2. Ток кучи $I = 800$ мА бўлганда ўтказгичнинг кўндаланг кесими юзаси орқали $t = 1$ мс вақт ичида ўтадиган электронлар сони N ни топинг. Электроннинг заряди $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Жавоб: $N = \frac{I \cdot t}{e} = 5 \cdot 10^{15}.$

39.3. Агар $t = 10$ с вақт ичида ўтказгичнинг $S = 5$ мм² кўндаланг кесим юзасидан $q = 20$ Кл электр заряди ўтган бўлса, ўтказгичдан ўтаётган ток кучи I ва унинг зичлиги j нимага тенг бўлади?

Жавоб: $I = \frac{q}{t} = 2 \text{ А}; j = \frac{q}{St} = 0,4 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$

39.4. Қаршилиги $R = 20$ Ом бўлган ўтказгичдан $t = 2$ мин вақт ичида $q = 360$ Кл электр заряди ўтган. Ўтказгич учларидаги кучланиш U ни топинг.

Жавоб: $U = \frac{qR}{t} = 60 \text{ В}.$

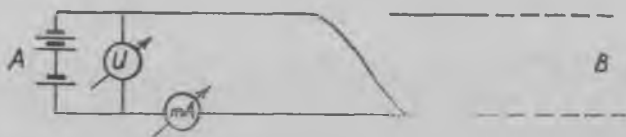
39.5. Диаметри $d = 0,1$ мм бўлган мис симнинг $l = 2$ м ли бўлагининг қаршилиги $R = 4,46$ Ом бўлса, миснинг солиштирма қаршилиги ρ ни топинг.

Жавоб: $\rho = \frac{\pi d^2 R}{4l} = 1,75 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}.$

39.6. Массаси $m = 1$ кг, кўндаланг кесим юзи $S = 0,1$ мм² бўлган мис симнинг қаршилиги R ни топинг. Миснинг зичлиги $D = 8900$ кг/м³, солиштирма қаршилиги эса $\rho = 1,75 \times 10^{-8}$ Ом · м.

Жавоб: $R = \frac{\rho m}{DS^2} = 1,7 \text{ Ом}.$

39.7. Бир-биридан $L = 240$ км масофада бўлган A ва B шаҳарлар орасига $R = 1,2$ кОм қаршиликли алоқа линияси тортилган. Агар кузатиш хонасида линияга уланган вольтметр $U = 30$ В ни, миллиамперметр $I = 120$ мА ни кўрсатаётган бўл-



8.1- расм

са, симлар A шаҳардан қанча L , масофада қисқа туташиб қолган (8.1- расм)?

Жавоб: $L_1 = L \frac{IR}{U} = 5 \cdot 10^4 \text{ м} = 50 \text{ км.}$

39.8. Бир хил моддадан ясалган, узунликлари ўзаро тенг ва кўндаланг кесимлари юзалари $S_1 = 1 \text{ мм}^2$, $S_2 = 2 \text{ мм}^2$, $S_3 = 3 \text{ мм}^2$ бўлган кетма-кет уланган учта ўтказгичнинг учларидаги кучланиш $U = 11 \text{ В}$ бўлса, ҳар бир ўтказгичдаги кучланишлар U_1 , U_2 , U_3 нимага тенг бўлади?

Жавоб: $U_1 = 3U \frac{S_2 \cdot S_3}{S_1 \cdot S_2 + S_1 \cdot S_3 + S_2 \cdot S_3} = 6 \text{ В};$

$U_2 = 3U \frac{S_1 \cdot S_3}{S_1 \cdot S_2 + S_1 \cdot S_3 + S_2 \cdot S_3} = 3 \text{ В};$

$U_3 = 3U \frac{S_1 \cdot S_2}{S_1 \cdot S_2 + S_1 \cdot S_3 + S_2 \cdot S_3} = 2 \text{ В.}$

39.9. Агар $I = 0,2 \text{ А}$ ток ўтаётган ўтказгичнинг кўндаланг кесими юзи $S = 0,5 \text{ мм}^2$ бўлса, эркин электронлар дрейфининг ўртача тезлиги $v_{\text{ўрт}}$ ни топинг. Электронларнинг заряди $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, эркин электронларнинг концентрацияси эса $n_0 = 4 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$.

Жавоб: $v_{\text{ўрт}} = \frac{I}{n_0 e S} = 10^{-5} \text{ м/с} = 10 \text{ мкм/с.}$

39.10. Платина симнинг $t_1 = 20^\circ\text{С}$ ҳароратдаги қаршилиги $R_1 = 20 \text{ Ом}$, $t_2 = 500^\circ\text{С}$ даги қаршилиги эса $R_2 = 59 \text{ Ом}$. Платина қаршилигининг ҳарорат коэффициенти α ни топинг.

Жавоб: $\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1 t_2 - R_2 t_1} = 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ град}^{-1}.$

39.11. Ҳарорати $t = 800^\circ\text{С}$ бўлганда қаршилиги $R_t = 48 \text{ Ом}$ бўладиган иситгич тайёрлаш учун диаметри $d = 0,5 \text{ мм}$, солиштирма қаршилиги $\rho_0 = 0,4 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$, қаршилигининг ҳарорат коэффициенти $\alpha = 0,00021 \text{ град}^{-1}$ бўлган симнинг узунлиги l қандай бўлиши керак?

Жавоб: $l = \frac{\pi d^2 R_t}{4 \rho_0 (1 + \alpha t)} = 20,26 \text{ м.}$

39.12. Кўндаланг кесимлари бир хил бўлган, ўзаро кетма-кет уланган кўмир ва темир стерженларнинг умумий қаршилиги ҳароратга боғлиқ бўлмаслиги учун уларнинг узунликларининг нисбати l_2/l_1 қандай бўлиши керак? Кўмир ва темирнинг солиштирама қаршиликлари $\rho_1 = 4 \cdot 10^{-7}$ Ом·м ва $\rho_2 = 1,2 \cdot 10^{-7}$ Ом·м; қаршиликларининг ҳарорат коэффициентлари эса мос равишда $\alpha_1 = -0,8 \cdot 10^{-3}$ град⁻¹ ва $\alpha_2 = 6 \times 10^{-3}$ град⁻¹.

Жавоб: $\frac{l_2}{l_1} = \frac{\alpha_1 \rho_1}{\alpha_2 \rho_2} = 44,4$.

40-§. ЎТКАЗГИЧЛАРНИ КЕТМА-КЕТ ВА ПАРАЛЛЕЛ УЛАШ. ҚЎШИМЧА ҚАРШИЛИК ВА ШУНТ.

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. 8.2-расмдаги схемада $R_1 = 20$ Ом, $R_2 = 30$ Ом, $R_3 = 40$ Ом, $R_4 = 32$ Ом, $R_5 = 12$ Ом, $R_6 = 55$ Ом бўлса, занжирнинг умумий қаршилиги R топилсин.

Ечилиши: Занжирнинг қаршилиги ўзаро кетма-кет уланган қисмлар қаршиликларининг йиғиндисига тенг бўлади:

$$R_{ad} = R_1 + R_{bc} + R_6. \quad (1)$$

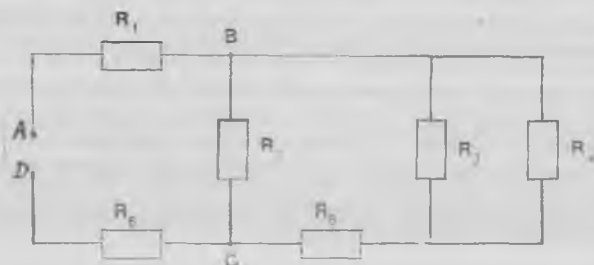
Занжирнинг bc қисми ўзаро параллел уланган икки тармоқ (R_2 ва R_{345}) нинг қаршиликларидан иборат бўлганлиги учун, унинг R_{bc} қаршилиги:

$$\frac{1}{R_{bc}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_{345}}. \quad (2)$$

Дастлаб R_{345} қаршиликни ҳисоблаб чиқамиз. 8.2-расмдан кўринадики:

$$R_{345} = R_{34} + R_5 = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} + R_5 = \frac{40 \cdot 32}{40 + 32} \text{ Ом} + 12 \text{ Ом} = 29,8 \text{ Ом}.$$

(2) дан R_{bc} қаршиликларни ҳисоблаб чиқамиз:



8.2-расм



8.3. расм

$$R_{bc} = \frac{R_2 \cdot R_{345}}{R_2 + R_{345}} = \frac{30 \cdot 29,8}{30 + 29,8} \text{ Ом} = 15 \text{ Ом.}$$

У ҳолда (1) га асосан занжирнинг умумий қаршилиги қуйидагига тенг бўлади:

$$R = R_1 + R_{bc} + R_6 = 20 \text{ Ом} + 15 \text{ Ом} + 65 \text{ Ом} = 100 \text{ Ом.}$$

Жавоб: $R = 100 \text{ Ом.}$

2-масала. Қаршилиги $R_A = 0,08 \text{ Ом}$ бўлган амперметрга узунлиги $l = 0,1 \text{ м}$ ва кундаланг кесим юзи $S = 0,05 \text{ мм}^2$ бўлган мис сим параллел, яъни шунт кўринишида уланган (8.3-расм). Агар амперметр $I_A = 0,5 \text{ А}$ ни кўрсатса, занжирдаги токнинг кучи I нимага тенг бўлади? Миснинг солиштирма қаршилиги $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м.}$

Берилган: $R_A = 0,08 \text{ Ом}$; $l = 0,1 \text{ м}$; $S = 0,05 \text{ мм}^2 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2$,
 $I_A = 0,5 \text{ А}$; $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м.}$

Топиш керак: $I = ?$

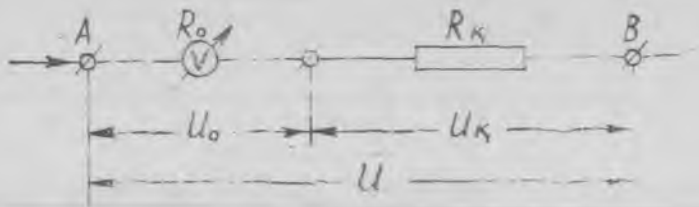
Ечилиши: Ўзаро параллел уланган амперметр (R_A) ва шунт ($R_{ш}$) лардан ўтаётган ток кучларининг нисбати R_A ва $R_{ш}$ қаршиликлар нисбатига тескари пропорционалдир, яъни:

$$\frac{I_A}{I_{ш}} = \frac{R_{ш}}{R_A},$$

бунда $R_{ш} = \rho \frac{l}{S}$ — шунтнинг қаршилиги, $I_{ш} = (I - I_A)$ — шунтдаги токнинг кучи, I — эса занжирдаги токнинг кучи. Бинобарин:

$$\frac{I_A}{I - I_A} = \frac{\rho \frac{l}{S}}{R_A},$$

бундан занжирдаги токнинг кучи I ни топиб, ҳисоблаб чиқамиз:



8.4- расм

$$I = I_A \frac{R_A - \rho \cdot l/S}{\rho \cdot l/S} = I_A \frac{R_A \cdot S - \rho l}{\rho l} =$$

$$= 0,5 \text{ A} \frac{0,08 \text{ Ом} \cdot 5 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2 - 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м} \cdot 0,1 \text{ м}}{1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м} \cdot 0,1 \text{ м}} = 6,75 \text{ A}.$$

Жавоб: $I = 6,75 \text{ A}$.

3- масала. Ички қаршилиги $R_v = 500 \text{ Ом}$ бўлган вольтметр ёрдамида $U_v = 10 \text{ В}$ гача кучланишни ўлчаш мумкин. Шу вольтметр ёрдамида $U = 300 \text{ В}$ кучланишни ўлчаш учун унга қандай қўшимча қаршилик R_k ни кетма-кет улаш керак (8.4-расм)?

Берилган: $R_v = 500 \text{ Ом}$; $U_v = 10 \text{ В}$; $U = 300 \text{ В}$.

Топиш керак: $R_k = ?$

Ечилиши: Ўлчанадиган кучланиш вольтметрдаги (U_v) ва қўшимча қаршиликдаги (U_k) кучланиш тушишларнинг йиғиндисига тенг, яъни:

$$U = U_v + U_k = IR_v + IR_k = I(R_v + R_k),$$

бунда I — вольтметр ва қўшимча қаршиликдан ўтаётган токнинг кучи, унинг $I = \frac{U_v}{R_v}$ ифодасини юқоридаги ўринга қўйилса:

$$U = U_v \frac{R_v + R_k}{R_v} = U_v \left(1 + \frac{R_k}{R_v} \right).$$

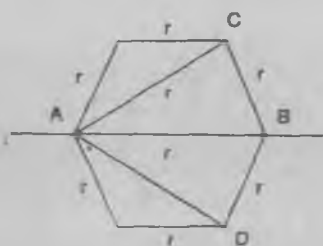
Бундан изланаётган қўшимча қаршилик:

$$R_k = R_v \frac{U - U_v}{U_v} = 500 \text{ Ом} \frac{300 \text{ В} - 10 \text{ В}}{10 \text{ В}} = 24500 \text{ Ом} = 24,5 \text{ кОм}.$$

Жавоб: $R_k = 24500 \text{ Ом} = 24,5 \text{ кОм}$.

Мустақил ечиш учун масалалар

40.1. Ўзаро кетма-кет уланган $R_1 = 2 \text{ Ом}$, $R_2 = 2,5 \text{ Ом}$ ва $R_3 = 3 \text{ Ом}$ қаршиликли учта резисторнинг учларидаги кучланиш $U = 6 \text{ В}$ га тенг. Ҳар бир резистордаги U_1 , U_2 , U_3 кучланишларни топинг.



3.5- расм



3.6- расм

Жавоб: $U_1 = U \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} = 1,6 \text{ В}; U_2 = U \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3} = 2 \text{ В}; U_3 = U \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = 2,4 \text{ В}.$

40.2. 8.5- расмда тасвирланган электр занжири бир учидан чиққан диагоналлари бўлган олтибурчакни ҳосил қилган тўқ-қизта симдан тузилган. Ҳар бир ўтказгичнинг қаршилиги r га тенг. Занжирнинг A ва B нуқталари орасидаги R_0 умумий қаршиликни топинг.

Жавоб: $R_0 = \frac{(R_{ACB} + R_{ADB})r}{R_{ACB} + R_{ADB} + 2r} = \frac{5}{11}r$, бу ерда $R_{ACB} = R_{ADB} = \frac{2r \cdot r}{2r + r} + r.$

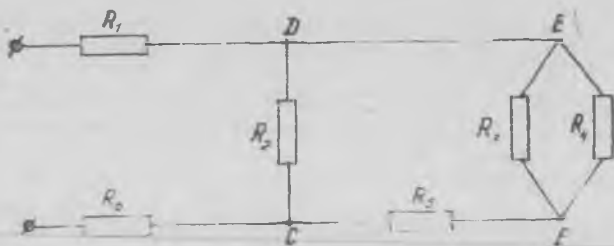
40.3. Кетма-кет уланган икки ўтказгичнинг умумий қаршилиги $R_{к.к.} = 5 \text{ Ом}$, параллел уланганда эса $R_{пар} = 1,2 \text{ Ом}$ бўлса, ҳар бир ўтказгичнинг қаршиликлари R_1, R_2 ни топинг.

Жавоб: $R'_1 = R'_2 = \frac{1}{2} (R_{к.к.} + \sqrt{R_{к.к.}^2 - 4R_{к.к.} \cdot R_{пар}}) = 3 \text{ Ом};$

$R'_1 = R'_2 = \frac{1}{2} (R_{к.к.} - \sqrt{R_{к.к.}^2 - 4R_{к.к.} \cdot R_{пар}}) = 2 \text{ Ом}.$

40.4. Учта қаршилик 8.6- расмда тасвирланган схема бўйича уланган. A ва B нуқталар орасидаги қаршилик $R_{AB} = 20 \text{ Ом}$, A ва C нуқталар орасидаги қаршилик эса $R_{AC} = 15 \text{ Ом}$. Агар $R_1 = 2R_2$ эканлиги маълум бўлса, R_1, R_2 ва R_3 қаршиликларни топинг.

Жавоб: $R_2 = \frac{4R_{AC} - R_{AB}}{2} = 20 \text{ Ом}; R_3 = \frac{(R_{AB} - R_{AC})(4R_{AC} - R_{AB})}{2R_{AC} - R_{AB}} = 20 \text{ Ом}; R_1 = 2R_2 = 40 \text{ Ом}.$



8.7- расм

40.5. Агар 8.7- расмда тасвирланган занжирда $R_1 = 15$ Ом, $R_2 = 30$ Ом, $R_3 = 40$ Ом, $R_4 = 33$ Ом, $R_5 = 12$ Ом, $R_6 = 45$ Ом бўлса, занжирнинг умумий қаршилиги R_0 ни топинг.

$$\text{Жавоб: } R_0 = \frac{\left(\frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} + R_6\right) R_2}{\frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} + R_5 + R_2} + R_1 + R_6 = 75 \text{ Ом.}$$

40.6. Агар 8.8- расмда тасвирланган кучланиш бўлгичда $U_0 = 220$ В, $R_1 = 2$ Ом, $R_2 = 4$ Ом, $R_3 = 6$ Ом, $R_4 = 8$ Ом бўлса, истеъмолчи AB , BC , CD , DE , BE , CE ва AE қисмларга уланганда олинadиган кучланишларни топинг.

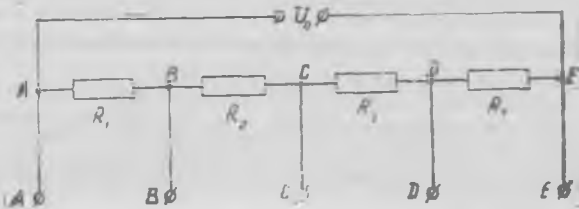
$$\text{Жавоб: } U_{AB} = U_0 \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = 22 \text{ В;}$$

$$U_{BC} = U_0 \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = 44 \text{ В; } U_{CD} = U_0 \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = 66 \text{ В;}$$

$$U_{DE} = U_0 \frac{R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = 88 \text{ В; } U_{BE} = U_0 \frac{R_2 + R_3 + R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = 198 \text{ В;}$$

$$U_{CE} = U_0 \frac{R_3 + R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = 154 \text{ В; } U_{AE} = U_0 = 220 \text{ В.}$$

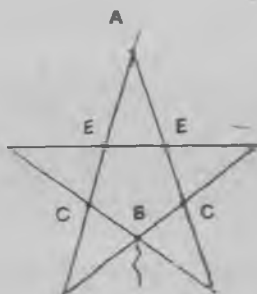
40.7. Ҳар бир қисмининг қаршилиги r га тенг бўлган, 8.9- расмда тасвирланган беш қиррали юлдуз кўринишида уланган



8.8- расм

электр занжирининг A ва B нуқталари орасидаги R_0 қаршиликни топинг.

$$\begin{aligned} \text{Жавоб: } R_0 &= \frac{R_{AE} + R_{EC} + R_{CB}}{2} = \\ &= \frac{\frac{2r \cdot r}{2r + r} + \frac{2r \cdot r}{2r + r} + r}{2} = \frac{6}{7}r. \end{aligned}$$



8.9- расм

40.8. Вольтметр $U_0 = 30$ В гача бўлган максимал кучланишни ўлчашга мўлжалланган. Бунда вольтметрдан $I_0 = 10$ мА ток ўтади. Шу вольтметр билан $U = 150$ В кучланишни ўлчаш учун унга қандай R_k қўшимча қаршилик улаш керак?

$$\text{Жавоб: } R_k = \frac{U_k}{I_0} = \frac{U - U_0}{I_0} = 12 \cdot 10^3 \text{ Ом} = 12 \text{ кОм.}$$

40.9. Қаршилиги $R_0 = 1500$ Ом бўлган вольтметр шкаласининг бўлим қийматини беш марта ($U/U_0 = 5$) орттириш учун унга қандай R_k қўшимча қаршилик улаш керак?

$$\text{Жавоб: } R_k = R_0(n - 1) = R_0(U/U_0 - 1) = 6 \cdot 10^3 \text{ Ом} = 6 \text{ кОм.}$$

40.10. Агар $R_{ш} = 0,04$ Ом қаршиликли шунт уланган амперметр орқали $I_0 = 5$ А ток ўтаётган бўлса, магистралдаги ток кучи I ни топинг. Амперметрнинг қаршилиги $R_0 = 0,12$ Ом.

$$\text{Жавоб: } I = I_0 \frac{R_0 + R_{ш}}{R_{ш}} = 18,7 \text{ А.}$$

40.11. Қаршилиги $R_0 = 0,1$ Ом ва шкаласининг бўлими қиймати $\alpha_0 = 1 \frac{\text{мА}}{\text{бўл}}$ бўлган гальванометр узунлиги $l = 10$ см ва кўндаланг кесими $S = 1,2$ мм² бўлган пўлат сим билан шунтланган бўлса, бўлимнинг янги қиймати α ни топинг. Пўлатнинг солиштирма қаршилиги $\rho = 0,12 \cdot 10^{-8}$ Ом · м.

$$\text{Жавоб: } \alpha = \alpha_0 \left(\frac{R_0 S}{\rho l} + 1 \right) = 11 \text{ мА/бўл.}$$

40.12. Ҳар бир бўлимнинг қиймати $\alpha_0 = 10$ мкА/бўл бўлган асбобнинг шкаласи $N = 100$ бўлимдан иборат бўлиб, ички қаршилиги $R_0 = 100$ Ом. Бу асбобдан $U = 100$ В кучланишни ўлчайдиган вольтметр яшаш учун унга уланган қўшимча қаршилик R_k ни ёки $I = 1$ А токни улаш учун унга уланган шунтнинг қаршилиги $R_{ш}$ ни топинг.

$$\text{Жавоб: } R_k = R_0 \left(\frac{U}{\alpha_0 N R_0} - 1 \right) = 10^5 \text{ Ом} = 100 \text{ кОм};$$

$$R_{ш} = R_0 \frac{\alpha_0 N}{1 - \alpha_0 N} = 0,1 \text{ Ом}.$$

51-§. ЁПИҚ ЗАНЖИР УЧУН ОМ ҚОНУНИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. ЭЮК $\mathcal{E} = 2,8$ В бўлган батарея 8-10 расмда тасвирланган схема бўйича занжирга уланган: бунда $R_1 = 1,8$ Ом, $R_2 = 2$ Ом, $R_3 = 3$ Ом. Агар амперметр $I_2 = 0,48$ А ни кўрсатётган бўлса, батареянинг ички қаршилиги r топилсин. Амперметрнинг ички қаршилигини жуда кичик деб ҳисоблансин.

Берилган: $\mathcal{E} = 2,8$ В; $R_1 = 1,8$ Ом; $R_2 = 2$ Ом; $R_3 = 3$ Ом. $I_2 = 0,48$ А.

Топиш керак: $r = ?$

Ечилиши: Батареянинг ички қаршилигини ёпиқ занжир учун Ом қонуни формуласидан осонгина топиш мумкин:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_{ум} + r}, \text{ бундан } r = \frac{\mathcal{E} - IR_{ум}}{I} = \frac{\mathcal{E}}{I} - R_{ум}.$$

Маълумки, $I = I_1 = I_2 + I_3$ бўлганлиги учун, аввал R_3 дан ўтувчи I_3 ток, сўнгра I умумий ток аниқланади: $U_{AB} = I_2 R_2 = I_3 R_3$, бундан $I_3 = I_2 \frac{R_2}{R_3}$.

Шундай қилиб,

$$I = I_2 + I_3 = I_2 + I_2 \frac{R_2}{R_3} = I_2 \frac{R_2 + R_3}{R_3}.$$

R_1 қаршилик тармоқланиш нуқтасига кетма-кет уланганлиги туфайли

$$R_{ум} = R_1 + R_{23} = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{R_1(R_2 + R_3) + R_2 R_3}{R_2 + R_3}.$$

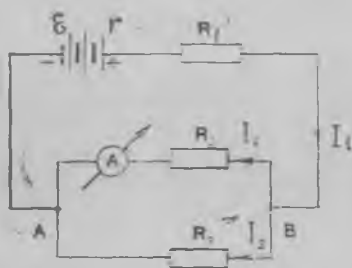
Бинобарин, I ва $R_{ум}$ ларнинг қийматларини юқоридаги ўрнига қўйиб, r ни топиш мумкин:

$$\begin{aligned} r &= \frac{\mathcal{E}}{I} - R_{ум} = \frac{\mathcal{E} \cdot R_3}{I_2 (R_2 + R_3)} - \frac{R_1(R_2 + R_3) + R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \\ &= \frac{2,8 \text{ В} \cdot 3 \text{ Ом}}{0,48 \text{ А} \cdot 5 \text{ Ом}} - \frac{1,8 \text{ Ом} \cdot 5 \text{ Ом} + 6 \text{ (Ом)}^2}{5 \text{ Ом}} = 0,5 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

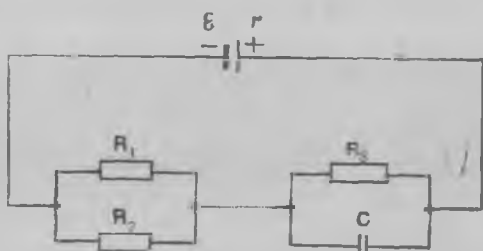
Жавоб: $r = 0,5$ Ом.

2-масала. Ток манбаи $R_1 = 1,8$ Ом ташқи қаршиликка уланганда $I_1 = 0,7$ А ток беради. Агар ташқи қаршилик $R_2 = 2,3$ Ом бўлганда, ток кучи камайиб $I_2 = 0,56$ А бўлиб қолган бўлса, манбанинг ЭЮК \mathcal{E} ва ички қаршилиги r топилсин.

Берилган: $R_1 = 1,8$ Ом; $I_1 = 0,7$ А; $R_2 = 2,3$ Ом; $I_2 = 0,56$ А.



8.10- расм



8.11- расм

Топиш керак: $\mathcal{E} = ?$, $r = ?$

Ечилиши: $\mathcal{E} = \text{const}$ ва $r = \text{const}$ эканлигидан фойдаланамиз. Ёпиқ занжир учун Ом қонунига асосан иккита тенгламани тузамиз:

$$\mathcal{E} = I_1 R_1 + I_1 r \quad \text{ва} \quad \mathcal{E} = I_2 R_2 + I_2 r.$$

Булардан

$$I_1 R_1 + I_1 r = I_2 R_2 + I_2 r,$$

демак,

$$r = \frac{I_2 R_2 - I_1 R_1}{I_1 - I_2} = \frac{0,56 \text{ А} \cdot 2,3 \text{ Ом} - 0,7 \text{ А} \cdot 1,8 \text{ Ом}}{0,7 \text{ А} - 0,56 \text{ А}} = 0,2 \text{ Ом}.$$

Ички қаршилик r нинг қийматини юқорида ўрнига қўйиб, ток манбаининг ЭЮК \mathcal{E} ни топамиз:

$$\mathcal{E} = I_1 R_1 + I_1 r = I_1 (R_1 + r) = 0,7 \text{ А} (1,8 \text{ Ом} + 0,2 \text{ Ом}) = 0,7 \text{ А} \cdot 2 \text{ Ом} = 1,4 \text{ В}.$$

Жавоб: $\mathcal{E} = 1,4 \text{ В}$; $r = 0,2 \text{ Ом}$.

3- масала. Ички қаршилиги $r = 3 \text{ Ом}$ бўлган элемент таъминлаб турган занжир 8.11-расмда кўрсатилганидек, ўзаро параллел уланган $R_1 = R_2 = 28 \text{ Ом}$ ли иккита қаршилик ва $R_3 = 40 \text{ Ом}$ ли битта қаршиликдан иборат бўлиб, R_3 қаршиликка $C = 5 \text{ мкФ}$ сиғимли конденсатор параллел уланганда у $q = 4,2 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$ электр билан зарядланган. Элементнинг ЭЮК \mathcal{E} топилсин.

Берилган: $r = 3 \text{ Ом}$; $R_1 = R_2 = 28 \text{ Ом}$; $R_3 = 40 \text{ Ом}$; $C = 5 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$; $q = 4,2 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$.

Топиш керак: $\mathcal{E} = ?$

Ечилиши: R_3 қаршиликдаги кучланиш тушуви қуйидагига тенг бўлади:

$$U_3 = IR_3 = \frac{q}{C}.$$

Бундан, шу қаршилик орқали ўтувчи токнинг кучи

$$I = \frac{q}{CR_3}.$$

Занжирнинг умумий қаршилиги $R_{\text{ум}}$ қуйидагига тенг бўлади:

$$R_{\text{ум}} = R_{12} + R_3 + r = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + R_3 + r,$$

у ҳолда топилиши керак бўлган элементнинг ЭЮК:

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= I \cdot R_{\text{ум}} = \frac{\mathcal{E}}{CR_3} \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + R_3 + r \right) = \\ &= \frac{4,2 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}}{5 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} \cdot 40 \text{ Ом}} \left(\frac{28 \cdot 28 \text{ Ом}^2}{2 \cdot 28 \text{ Ом}} + 40 \text{ Ом} + 3 \text{ Ом} \right) \approx 1,2 \text{ В}. \end{aligned}$$

Жавоб: $\mathcal{E} = 1,2 \text{ В}$.

Мустақил ечиш учун масалалар

41.1. ЭЮК $\mathcal{E} = 2 \text{ В}$ бўлган кислотали аккумуляторга $R = 4,8 \text{ Ом}$ ли ташқи қаршилик уланганда $I = 0,4 \text{ А}$ ток ҳосил бўлган. Аккумуляторнинг ички қаршилиги r ни ва унинг қисқичларидаги кучланиш U ни топинг.

Жавоб: $r = \frac{\mathcal{E} - Ir}{I} = 0,2 \text{ Ом}; U = IR = 1,92 \text{ В}$.

41.2. Ишқорли аккумулятор $R_1 = 1,5 \text{ Ом}$ ли ташқи қаршиликка уланганда $I_1 = 0,8 \text{ А}$ токни, $R_2 = 3,25 \text{ Ом}$ ли ташқи қаршиликка уланганда эса $I_2 = 0,4 \text{ А}$ токни берса, аккумуляторнинг ЭЮК \mathcal{E} ни ва ички қаршилиги r ни топинг.

Жавоб: $\mathcal{E} = I_1 \cdot I_2 \frac{R_2 - R_1}{I_1 - I_2} = 1,4 \text{ В}; r = \frac{I_2 R_2 - I_1 R_1}{I_1 - I_2} = 0,25 \text{ Ом}$.

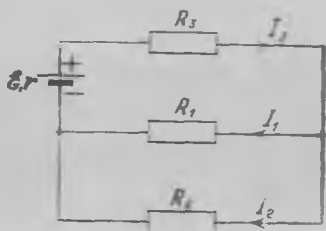
41.3. Гальваник элемент $R_1 = 4 \text{ Ом}$ ли ташқи қаршиликка уланганда $I_1 = 0,2 \text{ А}$ токни, $R_2 = 7 \text{ Ом}$ ли ташқи қаршиликка уланганда эса $I_2 = 0,14 \text{ А}$ токни берса, элементнинг қисқа тушаиш токи $I_{\text{к. т.}}$ ни топинг.

Жавоб: $I_{\text{к. т.}} = I_1 I_2 \frac{R_2 - R_1}{I_2 R_2 - I_1 R_1} = 0,47 \text{ А}$.

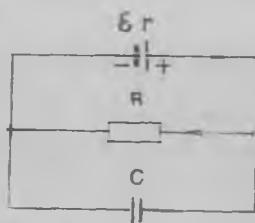
41.4. ЭЮК $\mathcal{E} = 2 \text{ В}$ ва ички қаршилиги $r = 1,5 \text{ Ом}$ бўлган элемент ташқи занжирга $I = 0,5 \text{ А}$ ток берса, R ташқи қаршиликни, элементнинг ичидаги ва занжирнинг ташқи қисмидаги U_r ва U_k кучланишларни топинг.

Жавоб: $R = \frac{\mathcal{E} - Ir}{I} = 2,5 \text{ Ом}; U_R = \mathcal{E} - Ir = 0,75 \text{ В}; U_r = Ir = 1,25 \text{ В}$.

41.5. Схемаси 8 12- расмда келтирилган занжирда $\mathcal{E} = 100 \text{ В}$, $r = 0,2 \text{ Ом}$, $R_1 = 3 \text{ Ом}$, $R_2 = 2 \text{ Ом}$ ва $R_3 = 18,8 \text{ Ом}$ бўлса, R_1 ва R_3 қаршиликлардан ўтаётган I_1 ва I_2 тоқларнинг кучларини топинг.



8.12- расм



8.13- расм

Жавоб: $I_1 = \frac{\mathcal{E} \cdot R_2}{R_1 R_2 + (R_1 + R_2)(R_3 + r)} = 1,98 \text{ A};$

$I_2 = \frac{\mathcal{E} \cdot R_1}{R_1 R_2 + (R_1 + R_2)(R_3 + r)} = 2,97 \text{ A}.$

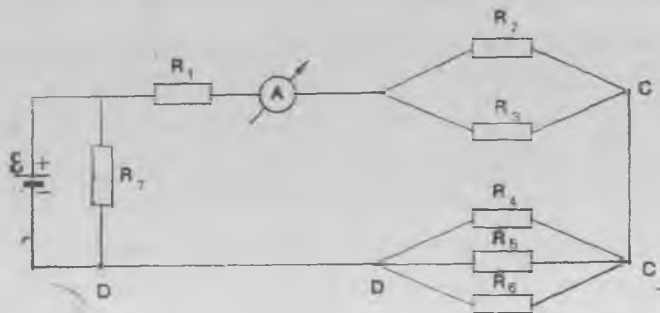
41.6. Схемаси 8,13-расмда келтирилган занжирда $C=0,3 \text{ мкФ}$ сифимли конденсатор ва $R=5 \text{ Ом}$ қаршилик ўзаро параллел улашиб, ЭЮК $\mathcal{E}=12 \text{ В}$ ва ички қаршилиги $r=1 \text{ Ом}$ бўлган ток манбаига уланган. Конденсаторда тўпланган заряд q ни топинг.

Жавоб: $q = C \frac{R}{R + r} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ Кл} = 3 \text{ мкКл}.$

41.7. Агар аккумулятор $R_1 = 1 \text{ Ом}$ ли ташқи қаршилик билан тугаштирилганда унинг қисқичларидаги кучланиш $U_1 = 2 \text{ В}$, $R_2 = 2 \text{ Ом}$ ли қаршилик билан тугаштирилганда эса $U_2 = 2,4 \text{ В}$ бўлса, аккумуляторнинг ички қаршилиги r ни топинг.

Жавоб: $r = \frac{U_2 - U_1}{U_1/R_1 - U_2/R_2} = 0,5 \text{ Ом}.$

41.8. Агар 8.14-расмда тасвирланган электр занжирида $R_1 = 6,4 \text{ Ом}$, $R_2 = 4,0 \text{ Ом}$, $R_3 = 12 \text{ Ом}$, $R_4 = 6,0 \text{ Ом}$, $R_5 = 3,0 \text{ Ом}$, $R_6 = 8,0 \text{ Ом}$, $R_7 = 20 \text{ Ом}$ ва амперметрнинг кўрсатиши $I_1 = 10 \text{ А}$ бўлса, занжирнинг BC , DC , AD қисмларидаги R_{2-3} , R_{4-6} , R_{1-6}



8.14- расм

қаршиликлар, улардаги потенциаллар тушувлари U_{BC} , U_{DC} , U_{AD} қаршиликлардаги токларнинг кучлари $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_7$, шунингдек, ток манбаининг ЭЮК \mathcal{E} ни топинг.

$$\text{Жавоб: } R_{2-3} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = 3 \text{ Ом;}$$

$$R_{4-6} = \frac{R_4 \cdot R_5 \cdot R_6}{R_4 \cdot R_5 + R_5 \cdot R_6 + R_4 \cdot R_6} = 1,6 \text{ Ом;}$$

$$R_{1-6} = R_1 + R_{2-3} + R_{4-6} = 11 \text{ Ом.}$$

$$U_{BC} = I_1 \cdot R_{2-3} = 30 \text{ В; } U_{CD} = I_1 \cdot R_{4-6} = 16 \text{ В;}$$

$$U_{AD} = I_1 \cdot R_{1-6} = 110 \text{ В; } I_2 = \frac{U_{BC}}{R_2} = 7,5 \text{ В;}$$

$$I_3 = \frac{U_{BC}}{R_3} = 2,5 \text{ А; } I_4 = \frac{U_{DC}}{R_4} = 2,7 \text{ А;}$$

$$I_5 = \frac{U_{DC}}{R_5} = 5,3 \text{ А; } I_6 = \frac{U_{DC}}{R_6} = 2 \text{ А;}$$

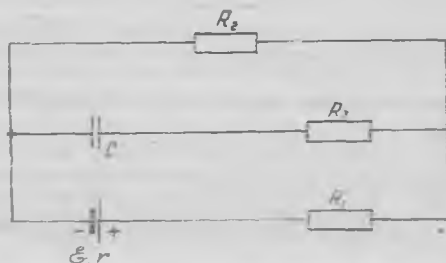
$$I_7 = \frac{U_{AD}}{R_7} = 5,5 \text{ А; } I = I_1 + I_5 = 15,5 \text{ А;}$$

$$\mathcal{E} = U_{AD} = 110 \text{ В, чунки } r = 0.$$

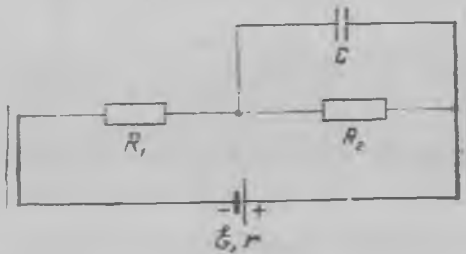
41.9. Аккумулятор ва $R = 20$ Ом ли қаршиликдан иборат занжирга вольтметр аввал кетма-кет, сўнгра параллел уланган. Аккумуляторнинг ички қаршилиги $r = 0,2$ Ом. Агар вольтметрнинг кўрсатиши икки ҳолда ҳам бир хил бўлса, унинг ички қаршилиги R_V ни топинг.

$$\text{Жавоб: } R_V = \frac{R^2}{r} = 2 \cdot 10^3 \text{ Ом} = 2 \text{ кОм.}$$

41.10. Агар 8.15-расмда тасвирланган электр занжиридаги ток манбаининг ЭЮК $\mathcal{E} = 3,6$ В, ички қаршилиги $r = 1$ Ом ва ташқи қаршиликлар $R_1 = 4$ Ом, $R_2 = 7$ Ом, $R_3 = 3$ Ом ҳамда конденсаторнинг сиғими $C = 2$ мкФ бўлса, конденсатор қандай q заряд билан, қандай U кучланишга зарядланади?



8.15- расм



8.16- расм

Жавоб: $U = \frac{\mathcal{E} R_2}{R_1 + R_2 + r} = 2,1 \text{ В}; q = CU = 4,2 \cdot 10^{-6} \text{ Кл.}$

41.11. Агар 8.16- расмда тасвирланган электр занжирдаги ясси конденсатор қопламалари орасидаги электр майдоннинг кучланганлиги $E = 2,0 \text{ кВ/м}$ бўлса, батареянинг ЭЮК \mathcal{E} ни топинг. Схемادا $r = R_1 = R_2 = R$ ва конденсатор қопламалари орасидаги масофа $d = 5,0 \text{ мм}$.

Жавоб: $\mathcal{E} = Ed \frac{R_1 + R_2 + r}{R_2} = 30 \text{ В.}$

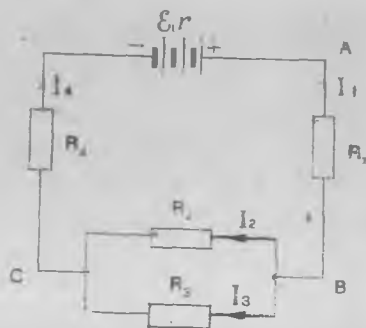
41.12. ЭЮК $\mathcal{E} = 12 \text{ В}$ ва ички қаршилиги $r = 1,0 \text{ Ом}$ бўлган ток манбаи $d = 0,5 \text{ мм}$ диаметрли никелин сим билан қисқа туташтирилганда $I = 0,8 \text{ А}$ ток беради. Симнинг узунлиги l ни ва манба қисқичларидаги кучланиш U ни топинг. Никелин симнинг солиштира қаршилиги $\rho = 4,2 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$,

Жавоб: $l = \frac{\pi d^2}{4\rho} (\mathcal{E} - Ir) = 6,5 \text{ м}; U = I \cdot \frac{4\rho l}{\pi d^2} = 3,3 \text{ В.}$

42-§. ТОК МАНБАЛАРИНИ КЕТМА-КЕТ ВА ПАРАЛЛЕЛ УЛАШ

Масалалар ечиш
намуналари

1-масала. Ҳар бирининг ЭЮК $\mathcal{E} = 1,5 \text{ В}$, ички қаршилиги $r = 0,5 \text{ Ом}$ бўлган уч элементдан ўзаро кетма-кет улашиб ҳосил қилинган батарея ташқи занжирга 8.17-расмда тасвирлангандек уланган. Агар ташқи занжирдаги қаршилиқлар $R_1 = 1,2 \text{ Ом}$, $R_2 = 1 \text{ Ом}$, $R_3 = 4 \text{ Ом}$ ва $R_4 = 1 \text{ Ом}$ бўлса, ҳар бир қаршилиқдан



8.17- расм

ўтаётган тоқларнинг кучи I_1, I_2, I_3, I_4 ва улардаги кучланишлар тушиши U_1, U_2, U_3, U_4 топилин.

Берилган: $n = 3; \mathcal{E} = 1,5 \text{ В}; r = 0,5 \text{ Ом}; R_1 = 1,2 \text{ Ом}, R_2 = 1 \text{ Ом}, R_3 = 4 \text{ Ом}, R_4 = 1 \text{ Ом}.$

Топиш керак: $I_1 = ? I_2 = ? I_3 = ? I_4 = ?; U_1 = ? U_2 = ? U_3 = ? U_4 = ?$

Ечилиши: Схемадан кўринадики, $I_1 = I_4 = I_{\text{ум}}$ ва $I_{\text{ум}} = I_2 + I_3$. Ёпиқ занжир учун Ом қонунига асосан $I_{\text{ум}} = \frac{\mathcal{E}_6}{R_{\text{ум}} + r_6}$ бўлиб, бунда $\mathcal{E}_6 = n\mathcal{E}$ — батареянинг ЭЮК ва $r_6 = nr$ — батареянинг ички қаршилиги, $R_{\text{ум}}$ — занжирнинг умумий қаршилиги:

$$R_{\text{ум}} = R_1 + R_{23} + R_4 \text{ бўлиб, } R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{1 \text{ Ом} \cdot 4 \text{ Ом}}{5 \text{ Ом}} = 0,8 \text{ Ом}.$$

У ҳолда

$$R_{\text{ум}} = R_1 + R_{23} + R_4 = 1,2 \text{ Ом} + 0,8 \text{ Ом} + 1 \text{ Ом} = 3 \text{ Ом}.$$

Бинобарин, занжирдан ўтаётган $I_{\text{ум}}$ ток:

$$I_{\text{ум}} = \frac{n\mathcal{E}}{R_{\text{ум}} + nr} = \frac{3 \cdot 1,5 \text{ В}}{3 \text{ Ом} + 3 \cdot 0,5 \text{ Ом}} = 1 \text{ А}.$$

Занжирнинг AB, BC, CD ва DA қисмларидаги кучланишларни занжирнинг бир қисми учун Ом қонунидан аниқланади:

$$U_{AB} = U_1 = I_{\text{ум}} \cdot R_1 = 1 \text{ А} \cdot 1,2 \text{ Ом} = 1,2 \text{ В};$$

$$U_{BC} = U_2 = U_3 = I_{\text{ум}} \cdot R_{23} = 1 \text{ А} \cdot 0,8 \text{ Ом} = 0,8 \text{ В};$$

$$U_{DC} = U_4 = I_{\text{ум}} \cdot R_4 = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ Ом} = 1,0 \text{ В};$$

$$U_{DA} = I_{\text{ум}} \cdot I_6 = 1 \text{ А} \cdot 1,5 \text{ Ом} = 1,5 \text{ В}.$$

Занжирнинг BC қисмидан ўтаётган тоқларнинг кучлари:

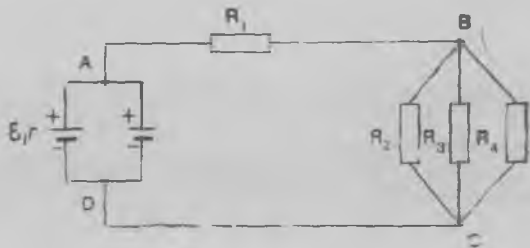
$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{0,8 \text{ В}}{1 \text{ Ом}} = 0,8 \text{ А}; \quad I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{0,8 \text{ В}}{4 \text{ Ом}} = 0,2 \text{ А}.$$

Текшириш: Занжирдан ўтаётган умумий ток кучи $I_{\text{ум}} = I_2 + I_3$ бўлганлиги учун $1 \text{ А} = 0,8 \text{ А} + 0,2 \text{ А}.$

Ёпиқ занжир бўйлаб кучланиш тушишларининг йиғиндиси батареянинг ЭЮК \mathcal{E} га тенг, яъни: $\mathcal{E}_6 = U_{AB} + U_{BC} + U_{CD} + U_{DA} = (1,2 + 0,8 + 1,0 + 1,5) \text{ В} = 4,5 \text{ В}.$

Жавоб: $I_1 = I_4 = 1 \text{ А}; I_2 = 0,8 \text{ А}; I_3 = 0,2 \text{ А}$ га, $U_1 = 1,2 \text{ В}; U_2 = U_3 = 0,8 \text{ В}; U_4 = 1,0 \text{ В}$

2-масала. Ҳар бирининг ЭЮК $\mathcal{E} = 1,2 \text{ В}$, ички қаршилиги $r = 0,5 \text{ Ом}$ булган $m = 2$ та элемент ўзаро параллел улашиб ҳосил қилинган батарея ташқи занжирга 8.18-расмда тасвирлангандек уланган. Занжирдаги қаршилиқлар $R_1 = 2,75 \text{ Ом},$



8.18. расм

$R_2 = 6$ Ом, $R_3 = 3$ Ом ва $R_4 = 2$ Ом бўлса, R_3 қаршиликдан ўтаётган токнинг кучи I_3 ни топинг.

Берилган: $\mathcal{E} = 1,2$ В; $r = 0,5$ Ом; $m = 2$; $R_1 = 2,75$ Ом; $R_2 = 6$ Ом; $R_3 = 3$ Ом, $R_4 = 2$ Ом.

Топиш керак: $I_3 = ?$

Ечилиши: Ёпиқ занжир учун Ом қонунига асосан занжирдан ўтаётган умумий токнинг кучи $I_{\text{ум}}$ қуйидагига тенг бўлади:

$$I_{\text{ум}} = \frac{\mathcal{E}_6}{R_{\text{ум}} + r_6}$$

Бунда \mathcal{E}_6 ўзаро параллел уланган элементлардан ҳосил бўлган батареянинг ЭЮК бўлганлиги учун $\mathcal{E}_6 = \mathcal{E}$ бўлиб, унинг ички қаршилиги $r_6 = \frac{r}{m}$ бўлади. Бинобарин:

$$I_{\text{ум}} = \frac{\mathcal{E}}{R_{\text{ум}} + r/m}$$

Ташқи занжирнинг умумий қаршилиги $R_{\text{ум}} = R_1 + R_{BC}$ бўлиб, занжирнинг BC қисмида қаршиликлар ўзаро параллел уланганлиги учун:

$$\frac{1}{R_{BC}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} = \frac{1}{6 \text{ Ом}} + \frac{1}{3 \text{ Ом}} + \frac{1}{2 \text{ Ом}} = \frac{6}{6 \text{ Ом}}$$

Бундан $R_{BC} = 1$ Ом келиб чиқади. Занжирнинг умумий қаршилиги эса $R_{\text{ум}} = R_1 + R_{BC} = 2,75 \text{ Ом} + 1 \text{ Ом} = 3,75 \text{ Ом}$. У ҳолда занжирдан ўтаётган умумий токнинг кучи:

$$I_{\text{ум}} = \frac{\mathcal{E}}{R_{\text{ум}} + r/m} = \frac{1,2 \text{ В}}{3,75 \text{ Ом} + \frac{0,5 \text{ Ом}}{2}} = 0,3 \text{ А.}$$

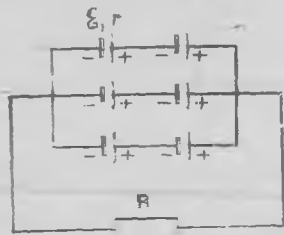
Занжирнинг BC қисмидаги кучланиш тушиши:

$$U_{BC} = I_{\text{ум}} \cdot R_{BC} = 0,3 \text{ А} \cdot 1 \text{ Ом} = 0,3 \text{ В.}$$

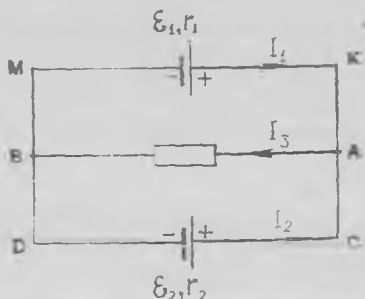
Изланаётган токнинг кучи қуйидагига тенг бўлади:

$$I_3 = \frac{U_{BC}}{R_3} = \frac{0,3 \text{ В}}{3 \text{ Ом}} = 0,1 \text{ А.}$$

Жавоб: $I_3 = 0,1 \text{ А.}$



8.19- расм



8.20- расм

3-масала. Ҳар бирининг ЭЮК $\mathcal{E} = 2 \text{ В}$, ички қаршилиги $r = 0,3 \text{ Ом}$ бўлган олтига элементдан иккитадан кетма-кет ва учтадан параллел улашиб ҳосил қилинган батарея қаршилиги $R = 1,8 \text{ Ом}$ бўлган ташқи занжирга уланган (8.19-расм). Занжирдан ўтаётган токнинг кучи I ни топинг.

Берилган: $\mathcal{E} = 2 \text{ В}$, $r = 0,3 \text{ Ом}$, $n = 2$, $m = 3$, $R = 1,8 \text{ Ом}$.

Топиш керак: $I = ?$

Ечилиши. Ёпиқ занжир учун Ом қонунига асосан занжирдан ўтаётган токнинг кучи I қуйидагига тенгдир:

$$I = \frac{\mathcal{E}_6}{R + r_6}$$

Бунда $\mathcal{E}_6 = n\mathcal{E}$ — батареянинг ЭЮК, $r_6 = \frac{n}{m}r$ — батареянинг умумий ички қаршилиги. У ҳолда занжирдан ўтаётган токнинг кучи:

$$I = \frac{n\mathcal{E}}{R + \frac{n}{m}r} = \frac{2 \cdot 2 \text{ В}}{1,8 \text{ Ом} + \frac{2}{3} \cdot 0,3 \text{ Ом}} = 2 \text{ А.}$$

Жавоб: $I = 2 \text{ А}$.

4-масала. ЭЮК лари $\mathcal{E}_1 = 1,6 \text{ В}$ ва $\mathcal{E}_2 = 1,3 \text{ В}$, ички қаршиликлари $r_1 = 1,0 \text{ Ом}$ ва $r_2 = 0,5 \text{ Ом}$ бўлган иккита элемент 8.20-расмдаги схема бўйича қаршилиги $R = 0,6 \text{ Ом}$ ли ташқи занжирга уланган. Ҳар бир элементдан ва занжирнинг ташқи қисмидан ўтаётган тоқлар I_1 , I_2 , I_3 топилсин.

Берилган: $\mathcal{E}_1 = 1,6 \text{ В}$; $\mathcal{E}_2 = 1,3 \text{ В}$; $r_1 = 1,0 \text{ Ом}$; $r_2 = 0,5 \text{ Ом}$; $R = 0,6 \text{ Ом}$.

Топиш керак: $I_1 = ?$ $I_2 = ?$ $I_3 = ?$

Ечилиши. Масалани ечиш учун Кирхгоф қонунидан фойдаланиб, тоқларнинг шарғли танланган йўналишичи ҳисобга олган ҳолда занжирнинг тугунлари ва ёпиқ контурлари учун тенгламалар тузамиз.

А тугун учун:

$$I_1 + I_2 = I_3.$$

КСДМ ёпиқ контур учун:

$$I_1 r_1 - I_2 r_2 = \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2.$$

КАВМ ёпиқ контур учун:

$$I_1 r_1 + I_3 R = \mathcal{E}_1.$$

Охирги тенгламадан I_3 ни йўқотиб, тенгламалар системасини I_1 ва I_2 га нисбатан ечилса, қуйидагилар ҳосил бўлади:

$$I_1 = \frac{\mathcal{E}_1 r_2 + (\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2) R}{r_1 R + r_1 \cdot r_2 + r_2 R} \quad \text{ва} \quad I_2 = \frac{I_1 r_1 + (\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1)}{r_2}.$$

Берилган қийматларни ўрнига қўйиб, ҳисобласак:

$$I_1 = \frac{1,6 \text{ В} \cdot 0,5 \text{ Ом} + (1,6 \text{ В} - 1,3 \text{ В}) \cdot 0,6 \text{ Ом}}{1 \text{ Ом} \cdot 0,6 \text{ Ом} + 1 \text{ Ом} \cdot 0,5 \text{ Ом} + 0,6 \text{ Ом} \cdot 0,5 \text{ Ом}} = 0,7 \text{ А};$$

$$I_2 = \frac{0,7 \text{ А} \cdot 1 \text{ Ом} + (1,3 \text{ В} - 1,6 \text{ В})}{0,5 \text{ Ом}} = 0,8 \text{ А};$$

$$I_3 = I_1 + I_2 = 0,7 \text{ А} + 0,8 \text{ А} = 1,5 \text{ А}.$$

Жавоб: $I_1 = 0,7 \text{ А}$; $I_2 = 0,8 \text{ А}$; $I_3 = 1,5 \text{ А}$.

Мустақил ечиш учун масалалар

42.1. Ҳар бирининг ЭЮК $\mathcal{E} = 1,5 \text{ В}$, ички қаршилиги $r = 0,5 \text{ Ом}$ бўлган $n = 8$ та элементдан ўзаро кетма-кет улашиб ҳосил қилинган батареянинг ЭЮК \mathcal{E}_6 ни ва ички қаршилиги r_6 ни топинг.

Жавоб: $\mathcal{E}_6 = n\mathcal{E} = 12 \text{ В}$; $r_6 = nr = 4 \text{ Ом}$.

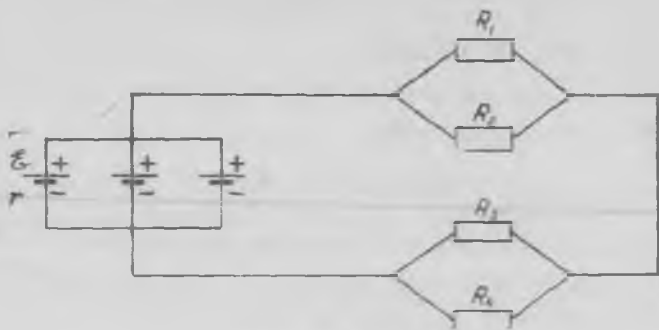
42.2. Ҳар бирининг ЭЮК $\mathcal{E} = 2 \text{ В}$ ва ички қаршилиги $r = 0,6 \text{ Ом}$ бўлган $m = 6$ та элементдан ўзаро параллел улашиб ҳосил қилинган батареянинг ЭЮК \mathcal{E}_6 ни ва ички қаршилиги r_6 ни топинг.

Жавоб: $\mathcal{E}_6 = \mathcal{E} = 2 \text{ В}$; $r_6 = r/m = 0,1 \text{ Ом}$.

42.3. Ҳар бирининг ЭЮК $\mathcal{E} = 1,6 \text{ В}$, ички қаршилиги $r = 1,2 \text{ Ом}$ бўлган $N = 15$ элемент ўзаро $n = 5$ дан кетма-кет ва $m = 3$ дан параллел улашиб ҳосил қилинган батареянинг ЭЮК \mathcal{E}_6 ни, ички қаршилиги r_6 ни топинг.

Жавоб: $\mathcal{E}_6 = n\mathcal{E} = 8 \text{ В}$; $r_6 = \frac{n}{m}r = 2 \text{ Ом}$.

42.4. Ҳар бирининг ЭЮК $\mathcal{E} = 1,2 \text{ В}$, ички қаршилиги $r = 0,8 \text{ Ом}$ бўлган $m = 3$ та элементдан ўзаро параллел улашиб ҳосил қилинган батарея ташқи занжирга 8.21-расмда тасвирлангандек уланган. Ташқи занжирдаги қаршиликлар $R_1 = R_2 =$



8.21. расм

$= 2,8$ Ом, $R_3 = 4$ Ом, $R_4 = 6$ Ом бўлса, занжирдан ва ҳар бир қаршилиқдан ўтаётган тоқлар I_1, I_2, I_3, I_4 ни топинг.

$$\text{Жавоб: } I = \frac{\mathcal{E}}{\frac{R_1 + R_2}{R_1 - R_2} + \frac{R_3 + R_4}{R_3 - R_4} + \frac{r}{m}} = 0,3 \text{ A};$$

$$I_1 = I \frac{R_2}{R_1 - R_2} = 0,15 \text{ A}; \quad I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 0,15 \text{ A};$$

$$I_3 = I \frac{R_4}{R_3 + R_4} = 0,18 \text{ A}; \quad I_4 = I \frac{R_3}{R_3 + R_4} = 0,12 \text{ A}.$$

42.5. ЭЮК лари ўзаро тенг $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = \mathcal{E}$ ва ички қаршилиқлари $r_1 = 0,4$ Ом, $r_2 = 0,2$ Ом бўлган $n = 2$ та ток манбаи кетма-кет уланган. Ташқи қаршилиқ R қандай бўлганда манбалардан бирининг қисқичларидаги кучланиш $U_1 = 0$ бўлади?

$$\text{Жавоб: } R = (n - 1)r_1 - r_2 = 0,2 \text{ Ом}.$$

42.6. ЭЮК лари $\mathcal{E}_1 = 2,2 \text{ В}$, $\mathcal{E}_2 = 1,1 \text{ В}$ ва $\mathcal{E}_3 = 0,9 \text{ В}$, ички қаршилиқлари мос равишда $r_1 = 0,2$ Ом, $r_2 = 0,4$ Ом ва $r_3 = 0,5$ Ом бўлган $n = 3$ та гальваник элемент занжирга кетма-кет уланган. Ташқи занжирнинг қаршилиги $R = 1$ Ом бўлса, ҳар бир элемент қисқичларидаги U_1, U_2, U_3 кучланишларини топинг.

$$\text{Жавоб: } U_1 = \mathcal{E}_1 - \frac{(\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3)r_1}{R + r_1 + r_2 + r_3} = 1,8 \text{ В}.$$

$$U_2 = \mathcal{E}_2 - \frac{(\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3)r_2}{R + r_1 + r_2 + r_3} = 0,3 \text{ В}.$$

$$U_3 = \mathcal{E}_3 - \frac{(\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3)r_3}{R + r_1 + r_2 + r_3} = -0,1 \text{ В}.$$

42.7. ЭЮК лари $\mathcal{E} = 1,5$ дан, ички қаршилиги $r = 0,2$ Ом дан бўлган бир хил $n = 5$ та элементдан ўзаро кетма-кет ула-

ниб ҳосил қилинган батарея параллел уланган $R_1 = 40$ Ом ва $R_2 = 60$ Ом қаршиликли ташқи занжирга ток беради. Батарея қисқичларидаги кучланиш U ни топинг.

$$\text{Жавоб: } U = n\mathcal{E} - I \cdot nr = n\mathcal{E} \left(1 - \frac{nr}{R + nr}\right) = 7,2 \text{ В.}$$

42.8. ЭЮК лари $\mathcal{E}_1 = 1,5$ В ва $\mathcal{E}_2 = 2$ В, ички қаршилик-лари $r_1 = 0,1$ Ом ва $r_2 = 0,15$ Ом бўлган иккига аккумулятор ўзаро параллел уланган. Батареядан ўтаётган ток кучи I ни ва унинг қисқичларидаги кучланиш U ни топинг.

$$\text{Жавоб: } I = \frac{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2}{r_1 + r_2} = 2 \text{ А, } U = \mathcal{E}_2 - Ir_2 = \mathcal{E}_2 - \frac{\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1}{r_1 + r_2} r_2 = 1,7 \text{ В.}$$

42.9. ЭЮК лари $\mathcal{E}_1 = 1,9$ В, $\mathcal{E}_2 = 1,1$ В, ички қаршилик-лари $r_1 = 0,1$ Ом ва $r_2 = 0,8$ Ом бўлган иккита гальваник элемент бир хил қутблари билан параллел улашиб, улар $R = 10$ Ом ли ташқи қаршиликка туташтирилган. Элементлардан ўтаётган тоқлар I_1 , I_2 ни ва R қаршиликдаги кучланиш U ни топинг.

$$\text{Жавоб: } I_1 = \frac{\mathcal{E}_1(R + r_2) - \mathcal{E}_2 R}{R \cdot r_1 + R \cdot r_2 + r_1 \cdot r_2} = 1,05 \text{ А; } I_2 = \frac{\mathcal{E}_1 R - \mathcal{E}_2(R + r_1)}{R \cdot r_1 + R \cdot r_2 + r_1 \cdot r_2} = 0,87 \text{ А, } U = IR + (I_1 + I_2)R = 1,92 \text{ В.}$$

42.10. Агар $R = 2$ Ом ли қаршиликдан иборат ташқи занжирга олдин кетма-кет уланган $n = 10$ та бир хил элемент кейин параллел уланса, ташқи занжирдаги ток кучининг ўзгариши $\Delta I = I_1 - I_2$ нимага тенг бўлади? Элементнинг ЭЮК $\mathcal{E} = 2$ В, ички қаршилиги $r = 0,2$ Ом.

$$\text{Жавоб: } \Delta I = I_1 - I_2 = \frac{n\mathcal{E}}{R + nr} - \frac{\mathcal{E}}{R + rn} = 4 \text{ А.}$$

42.11. Ҳар бирининг ЭЮК $\mathcal{E} = 1,5$ В ва ички қаршилиги $r = 0,5$ Ом бўлган $N = 400$ та бир хил элементдан n та кетма-кет улашиб, улардан m та параллел уланган батарея ҳосил қилинган. Батарея уланган $R = 2$ Ом ли ташқи қаршиликда максимал ток ҳосил бўлиши учун, n ва m нинг қийматлари қандай бўлиши керак? Бунда ташқи занжирдаги токнинг кучи I нимага тенг бўлади?

Эслатма: Ташқи қаршилик манбанинг ички қаршилигига тенг бўлганда ташқи занжирда максимал ток ҳосил бўлади.

$$\text{Жавоб: } n = \sqrt{N \frac{R}{r}} = 40, \quad m = \sqrt{N \frac{r}{R}} = 10,$$

$$I = \frac{\mathcal{E}}{2R} \sqrt{N \frac{R}{r}} = 15 \text{ А.}$$

42.12. Ҳар бирининг ЭЮК $\mathcal{E} = 1,8$ В, ички қаршилиги $r = 0,2$ Ом бўлган $n = 50$ та аккумулятордан кетма-кет улашиб

ҳосил қилинган батарея $U = 220$ В кучланишли ўзгармас ток манбаига уланиб, $I = 10$ А ток кучи билан зарядланиши учун занжирга қандай R қўшимча қаршилик улаш керак?

$$\text{Жавоб: } R = \frac{U - n\mathcal{E} - Inr}{I} = \frac{U - n\mathcal{E}}{I} - nr = 3 \text{ Ом.}$$

43-§. ТОКНИНГ ИШИ, ҚУВВАТИ ВА ИССИҚЛИК ТАЪСИРИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Массаси $m = 3000$ кг бўлган лифт $U = 380$ В кучланишга уланган, ФИК $\eta = 60\%$ бўлган электр двигатели ёрдамида ҳаракатга келтирилади. Агар лифт $t = 49$ с давомида $h = 50$ м баландликка кўтарилса, бажарилган фойдали $A_{\text{ф}}$ иш: двигателнинг фойдали $N_{\text{ф}}$ ва тўла N қуввати, сарф қилинган W энергия, двигателнинг ўрамадан ўтаётган токнинг куч I топилсин. Агар электр энергиянинг нархи $B = 4 \frac{\text{тийин}}{\text{кВт} \cdot \text{соат}}$

бўлса, сарф қилинган электр энергия неча S тийин туради?

Берилган: $m = 3 \cdot 10^3$ кг; $h = 50$ м; $t = 49$ с; $U = 380$ В; $\eta = 0,6$; $B = 4$ тийин/кВт · соат.

Топиш керак: $A_{\text{ф}} = ?$ $N_{\text{ф}} = ?$ $N = ?$ $W = ?$ $I = ?$ $S = ?$

Ечилиши: Лифтни h баландликка кўтаришда бажарилган фойдали иш унинг олган $W_n = mgh$ потенциал энергиясига тенг бўлади, яъни:

$$A_{\text{ф}} = mgh = 3 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 50 \text{ м} = 1,47 \cdot 10^6 \text{ Ж} = 1,47 \text{ МЖ.}$$

Двигателнинг фойдали қуввати вақт бирлиги ичида бажарилган фойдали ишга тенгдир:

$$N_{\text{ф}} = \frac{A_{\text{ф}}}{t} = \frac{1,47 \cdot 10^6 \text{ Ж}}{49 \text{ с}} = 30 \cdot 10^3 \text{ Вт} = 30 \text{ кВт,}$$

У ҳолда двигателнинг тўла қуввати:

$$N = \frac{N_{\text{ф}}}{\eta} = \frac{30 \cdot 10^3 \text{ Вт}}{0,6} = 50 \cdot 10^3 \text{ Вт} = 50 \text{ кВт.}$$

Лифтнинг кўтарилишида сарф бўлган электр энергия

$$W = Nt = 50 \text{ кВт} \cdot 49 \text{ с} = 2450 \text{ кВт} \cdot \text{с} = \frac{2450}{3600} \text{ кВт} \cdot \text{соат} = 0,68 \text{ кВт} \cdot \text{соат.}$$

Сарф бўлган бу энергиянинг нархи:

$$S = BW = 4 \frac{\text{тийин}}{\text{кВт} \cdot \text{соат}} \cdot 0,68 \text{ кВт} \cdot \text{соат} = 2,72 \text{ тийин.}$$

Двигателнинг ўрамадан ўтаётган токнинг кучи:

$$I = \frac{N}{U} = \frac{5 \cdot 10^4 \text{ Вт}}{380 \text{ В}} \approx 132 \text{ А.}$$

Жавоб: $A_{\phi} = 1,47$ МЖ, $N_{\phi} = 30$ кВт, $N = 50$ кВт, $W = 0,68$ кВт ×
× соат, $S = 2,72$ тийин; $I = 132$ А.

2-масала. Ички қаршилиги $r = 0,5$ Ом бўлган ток манбаига $R = 2,5$ Ом ли ташқи қаршилик уланганда ток манбаи қисқичларидаги кучланиш $U = 6$ В гача пасайган. Занжирдан ўтаётган токнинг кучи I , манбанинг ичидаги кучланиш тушиши U_r , манбанинг ЭЮК \mathcal{E} , ташқи занжирда ажралган N қувват, манбанинг тўла N_0 қуввати ва қурилманинг ФИК η топилсин.

Берилган: $r = 0,5$ Ом; $R = 2,5$ Ом; $U = 6$ В.

Топиш керак: $I = ?$ $U_r = ?$ $\mathcal{E} = ?$ $N = ?$ $N_0 = ?$ $\eta = ?$

Ечилиши: Ом қонунига асосан занжирнинг бир қисмидан ўтаётган токнинг кучи:

$$I = \frac{U}{r} = \frac{6 \text{ В}}{2,5 \text{ Ом}} = 2,4 \text{ А.}$$

Манба ичидаги кучланиш тушиши:

$$U_r = I \cdot r = 2,4 \text{ А} \cdot 0,5 \text{ Ом} = 1,2 \text{ В.}$$

Манбанинг ЭЮК ташқи ва ички қаршиликлардаги кучланиш тушишларининг йигиндисига тенгдир:

$$\mathcal{E} = U + U_r = 6 \text{ В} + 1,2 \text{ В} = 7,2 \text{ В.}$$

Ташқи қаршиликда ажралган қувват:

$$N = IU = 2,4 \text{ А} \cdot 6 \text{ В} = 14,4 \text{ Вт.}$$

Манбанинг тўла қуввати эса:

$$N_0 = I \mathcal{E} = 2,4 \text{ А} \cdot 7,2 \text{ В} = 17,28 \text{ Вт.}$$

Қурилманинг ФИК ташқи занжирда ажралган қувват N ни манбанинг тўла қуввати N_0 га бўлган нисбатига тенгдир:

$$\eta = \frac{N}{N_0} = \frac{14,4 \text{ Вт}}{17,28 \text{ Вт}} = 0,83 = 83\%.$$

Жавоб: $I = 2,4$ А; $U_r = 1,2$ В. $\mathcal{E} = 7,2$ В; $N = 14,4$ Вт; $N_0 = 17,28$ Вт. $\eta = 83\%$.

3-масала. $U = 220$ В кучланишли тармоққа ҳар бири $U_1 = U_2 = 110$ В кучланишга мўлжалланган $N_1 = 60$ Вт ва $N_2 = 200$ Вт қувватли иккита лампа кетма-кет уланган. Ҳар бир лампанинг қаршиликлари R_1 , R_2 занжирдан ўтаётган токнинг кучи I , ҳар бир лампада мос равишда тақсимланган кучланишлар U_1 , U_2 , истеъмол қувватлари N_1 , N_2 ва ҳар бир лампа $t = 10$ мин ёнганда ажраладиган иссиқлик миқдорлари Q_1 , Q_2 топилсин.

Берилган: $U = 220$ В; $U_1 = U_2 = 110$ В; $N_1 = 60$ Вт; $N_2 = 200$ Вт; $t = 10$ мин = 600 с.

Топиш керак: $R_1 = ?$ $R_2 = ?$ $I = ?$ $U_1' = ?$ $U_2' = ?$ $N_1' = ?$ $N_2' = ?$ $Q_1' = ?$ $Q_2' = ?$

Ечилиши. Аввал лампаларнинг қаршиликлари R_1 , R_2 ни белгилаб қийматлар орқали ҳисоблаб топамиз:

$$R_1 = \frac{U_1^2}{N_1} = \frac{(110 \text{ В})^2}{60 \text{ Вт}} = 201,6 \text{ Ом};$$

$$R_2 = \frac{U_2^2}{N_2} = \frac{(110 \text{ В})^2}{200 \text{ Вт}} = 60,5 \text{ Ом}.$$

Ом қонунига асосан лампалардан ўтаётган токнинг кучи:

$$I = \frac{U}{R_1 + R_2} = \frac{220 \text{ В}}{201,6 \text{ Ом} + 60,5 \text{ Ом}} = \frac{220 \text{ В}}{262,1 \text{ Ом}} = 0,84 \text{ А}.$$

Лампалар ток манбаига кетма-кет уланганлиги сабабли, Ом қонуни ва кучланишнинг тақсимланиш қонунига асосан қуйидаги икки тенгламани ёзиш мумкин:

$$\frac{U'_1}{R_1} = \frac{U'_2}{R_2} \text{ ва } U'_1 + U'_2 = U.$$

Бу икки тенгламадан U'_1 ва U'_2 ни аниқлаб ҳисоблаймиз:

$$U'_1 = U \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 220 \text{ В} \frac{60,5 \text{ Ом}}{262,1 \text{ Ом}} = 51 \text{ В},$$

$$U'_2 = U \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 220 \text{ В} \frac{201,6 \text{ Ом}}{262,1 \text{ Ом}} = 169 \text{ В}.$$

Лампалардан ўтувчи токни, уларнинг қаршилигини, кучланиш тақсимланишини, вақтни билган ҳолда кетма-кет уланган лампалар истеъмол қилинган қувватни ва улардан ажраладиган иссиқлик миқдорини ҳисоблаймиз:

$$N'_1 = I \cdot U'_1 = 0,84 \text{ А} \cdot 169 \text{ В} = 142 \text{ Вт};$$

$$N'_2 = I \cdot U'_2 = 0,84 \text{ А} \cdot 51 \text{ В} = 43 \text{ Вт};$$

$$Q'_1 = IU'_1 t = N'_1 t = 142 \text{ Вт} \cdot 600 \text{ с} = 85200 \text{ Ж} = 85,2 \text{ кЖ};$$

$$Q'_2 = IU'_2 t = N'_2 t = 43 \text{ Вт} \cdot 600 \text{ с} = 25800 \text{ Ж} = 25,8 \text{ кЖ}.$$

Жавоб: $R_1 = 201,6 \text{ Ом}$; $R_2 = 60,5 \text{ Ом}$; $I = 0,84 \text{ А}$; $U'_1 = 169 \text{ В}$; $U'_2 = 51 \text{ В}$, $N'_1 = 142 \text{ Вт}$, $N'_2 = 43 \text{ Вт}$, $Q'_1 = 85,2 \text{ кЖ}$; $Q'_2 = 25,8 \text{ кЖ}$.

Мустақил ечиш учун масалалар

43.1. Кучланиш тушиши $U = 12 \text{ В}$ бўлган ўтказгичнинг кўндаланг кесимидан $t = 1 \text{ мин}$ давомида $q = 120 \text{ Кл}$ заряд ўтади. Токнинг бажарган иши A , қуввати N , ўтказгичдан ўтаётган ток кучи I ва ўтказгичнинг қаршилиги R ни топинг.

Жавоб: $A = qU = 1,44 \text{ Ж}$; $N = \frac{qU}{t} = 24 \text{ Вт}$; $I = \frac{q}{t} = 2 \text{ А}$; $R = \frac{U}{I} = \frac{U t}{q} = 6 \text{ Ом}.$

43.2. Қаршилиги $R = 20$ Ом, учларидаги кучланиш $U = 24$ В бўлган ўтказгичдан $t = 20$ с вақт ичида ўтадиган заряд миқдори q , токнинг кучи I , бажарган иши A ва қуввати N ни топинг.

Жавоб: $q = \frac{Ut}{R} = 24$ Кл; $I = \frac{U}{R} = 1,2$ А; $A = \frac{U^2 t}{R} = 576$ Ж; $N = \frac{U^2}{R} = 288$ Вт.

43.3. Ички қаршилиги $r = 1$ Ом, қисқичларидаги кучланиш $U = 1,2$ В бўлган элемент $R = 4$ Ом қаршиликли ташқи занжирга уланган. Ташқи занжирда ажраладиган қувват N ва элементнинг тўла қуввати N_0 ни топинг.

Жавоб: $N = \frac{U^2}{R} = 0,36$ Вт; $N_0 = \frac{I^2 (R + r)}{R^2} = 0,45$ Вт.

43.4. Электр лампочкасига 220 В; 100 Вт деб ёзилган. Бу номинал ишчи режимига мос келса, лампочканинг ёниб турган вақтдаги қаршилиги R ни топинг.

Жавоб: $R = \frac{U^2}{N} = 484$ Ом.

43.5. Электр лампочкасига „220 В; 60 Вт“ деб ёзилган. Шу лампочка нормал ёнганда вольфрам толасининг ҳарорати $t_2 = 2900^\circ$ С булса, унинг $t_1 = 20^\circ$ С ҳароратдаги қаршилиги R_1 ни топинг. Вольфрам қаршилигининг ҳарорат коэффициентини $\alpha = 4,6 \cdot 10^{-3}$ град $^{-1}$.

Жавоб: $R_1 = \frac{U^2}{N} \cdot \frac{1 + \alpha t_1}{1 + \alpha t_2} = 61,9$ Ом.

43.6. Тошкент метрополитенининг поездини ҳар бирининг қуввати $N_1 = 75$ кВт дан бўлган 24 та мотор юргизади. Моторлар $n = 2$ тадан кетма-кет ва булар ($m = 12$ та) параллел уланган. Тармоқдаги кучланиш $U = 750$ В бўлса, мазкур моторлар системаси оладиган токнинг кучи I ни топинг.

Жавоб: $I = \frac{m}{n} \cdot \frac{N_1}{U} = 600$ А.

43.7. Уйда қувватлари $N_1 = 25$ Вт бўлган $n_1 = 4$ та, $N_2 = 40$ Вт бўлган $n_2 = 3$ та, $N_3 = 60$ Вт бўлган $n_3 = 3$ та, $N_4 = 100$ Вт бўлган $n_4 = 2$ та лампочка, $N_5 = 600$ Вт бўлган $n_5 = 1$ та электр плиткаси, $N_6 = 300$ Вт бўлган $n_6 = 1$ та электр чойгум ва $N_7 = 1700$ Вт булган $n_7 = 1$ та совиткич (холодильник) бор. Агар суткада лампочкалар $\tau_1 = 6$ соат, плитка $\tau_2 = 2$ соат ёнса, электр чойгум $\tau_6 = 1$ соат ва холодильник $\tau_7 = 5$ соат ишласа, бир ой давомида (30 кунда) сарф қилинадиган электр энергиясининг нархи S ни ҳисоблаб топинг. Гариф ($1 = 4 \frac{\text{тийин}}{\text{кВт} \cdot \text{соат}}$) бўйича, 1 кВт · соат энергия 4 тийин туради.

Жавоб: $S = T W = T [n_1 N_1 + n_2 N_2 + n_3 N_3 + n_4 N_4] \tau_{1-4} + n_5 N_5 \tau_5 + n_6 N_6 \tau_6 + n_7 N_7 \tau_7] \cdot 30 = 1632$ тийин $= 16$ сўм 32 тийин.

43.8. Трамвай вагонларининг электр двигателлари $I = 112$ А ток кучи ва $U = 550$ В кучланиш остида ишлайди. Агар двигателлар $F_T = 3600$ Н тортиш кучини ҳосил қилса ва уларнинг ФИК $\eta = 70\%$ бўлса, трамвай қандай v тезлик билан ҳаракатланади?

$$\text{Жавоб: } v = \eta \frac{IU}{F_T} = 12 \text{ м/с.}$$

43.9. ЭЮК лари $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = 130$ В, ички қаршиликлари $r_1 = 0,5$ Ом ва $r_2 = 0,4$ Ом бўлган иккита генератор узаро параллел уланган. Агар ташқи занжирнинг қаршилиги $R = 7$ Ом бўлса, ташқи занжирдан ўтаётган токнинг кучи I , генераторнинг қисқичларидаги кучланиш U , ҳар бир генератордан ўтаётган тоқларнинг кучи I_1, I_2 ва уларда ажралган қувватлар N_1, N_2 ни топинг.

$$\text{Жавоб: } I = \frac{\mathcal{E}_1 r_2 + \mathcal{E}_2 r_1}{r_1 r_2 + R r_1 + R r_2} = 18 \text{ А; } U = IR = \frac{(\mathcal{E}_1 r_2 + \mathcal{E}_2 r_1) R}{r_1 r_2 + R r_1 + R r_2} = 126 \text{ В; } I_1 = \frac{\mathcal{E}_1 - U}{r_1} = 10 \text{ А; } I_2 = \frac{\mathcal{E}_2 - U}{r_2} = 8 \text{ А; } N_1 = I_1 \mathcal{E}_1 = 1,3 \times 10^3 \text{ Вт; } N_2 = I_2 \mathcal{E}_2 = 1,04 \cdot 10^3 \text{ Вт.}$$

43.10. Кучланиши $U = 100000$ В бўлган манбадан $l = 5$ км масофага $N = 5000$ кВт қувватли электр энергияни узатишда кучланишнинг исрофи $\eta = 1\%$ дан ошмаслиги учун мис симнинг минимал кесим юзи S қандай бўлиши керак? Миснинг солиштира қаршилиги $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом \cdot м, зичлиги эса $D = 8,9 \cdot 10^3$ кг/м³.

$$\text{Жавоб: } S = \frac{2\rho l N}{\eta l^2} = 8,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 = 8,5 \text{ мм}^2.$$

43.11. Мис стержендан $\tau = 10$ с вақт оралиғида зичлиги $j = 9$ А/мм² булган ток ўтса, мис стерженининг ҳарорати қанчага ўзгаради? Миснинг зичлиги $D = 8900$ кг/м³, солиштира иссиқлик сизими $c = 380$ Ж/кг \cdot град, солиштира қаршилиги $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом \cdot м.

$$\text{Жавоб: } \Delta t = \frac{\rho j^2 \tau}{c D} = 4,07^\circ.$$

43.12. Электр чойгум икки чулғамга эга. Чулғамлардан бирини тармоққа уланганда унинг ичидаги сув $\tau_1 = 20$ мин да, иккинчисини уланганда эса $\tau_2 = 30$ мин да қайнайди. Иккала чулғамни кетма-кет ва параллел уланганда чойгумдаги сувнинг қайнаш вақтлари $\tau_{\text{к.к}}$, $\tau_{\text{пар}}$ қандай булишини топинг.

$$\text{Жавоб: } \tau_{\text{к.к}} = \tau_1 + \tau_2 = 50 \text{ мин; } \tau_{\text{пар}} = \frac{\tau_1 \cdot \tau_2}{\tau_1 + \tau_2} = 12 \text{ мин.}$$

Масалалар ечиш намуналари

1- масала. Агар электролиз вақтида $W = 5$ кВт · соат электр энергия сарфланган бўлса, ажралган миснинг массаси m топилсин. Ванна қисқичларидаги кучланиш $U = 10$ В бўлиб, қурилманинг ФИК $\eta = 75\%$. Миснинг электрохимиявий эквиваленти $K = 3,3 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл.

Берилган: $W = 5$ кВт · соат $= 18 \cdot 10^5$ Вт · с $= 18 \cdot 10^5$ Ж; $U = 10$ В; $\eta = 75\% = 0,75$; $K = 3,3 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл.

Топиш керак: $m = ?$

Ечилиши. Қурилманинг ФИК η токнинг фойдали иши $A_{\phi} = qU$ ни сарф бўлган электр энергияси W га бўлган нисбати-га тенгдир, яъни:

$$\eta = \frac{A_{\phi}}{W} = \frac{qU}{W},$$

бунда q — ваннадан ўтган заряд, U — ваннага уланган манбанинг кучланиши.

Фарадейнинг биринчи қонунига биноан электролиз вақтида ажралган модданинг массаси m заряд q га пропорционалдир:

$$m = kq,$$

бунда k — пропорционаллик коэффициенти бўлиб, модданинг электрохимиявий эквиваленти дейилади. Юқоридаги формуладан q ни аниқлаб, уни Фарадейнинг биринчи қонунининг ифодасига қўйилса:

$$m = kq = \frac{\eta AW}{U} = \frac{0,75 \cdot 3,3 \cdot 10^{-7} \text{ кг/Кл} \cdot 18 \cdot 10^5 \text{ Ж}}{10 \text{ В}} = 0,75 \cdot 3,3 \cdot 0,18 \frac{\text{кг} \cdot \text{Кл} \cdot \text{В}}{\text{Кл} \cdot \text{В}} \approx 0,45 \text{ кг.}$$

Жавоб: $m = 0,45$ кг.

2- масала. ФИК $\eta = 80\%$ бўлган қурилмада электролиз $U = 10$ В кучланиш остида олиб борилаётган бўлса, $m = 1$ кг алюминий олиш учун қанча электр энергияси W сарфланади? Алюминийнинг валентлиги $z = 3$, моляр массаси $A = 27$ кг/моль, Фарадей сони $F = 96,5 \cdot 10^6$ Кл/кг · экв.

Берилган: $m = 1$ кг; $U = 10$ В; $\eta = 0,8$; $z = 3$; $A = 27$ кг/кмоль; $F = 96,5 \cdot 10^6$ Кл/кг · экв.

Топиш керак: $W = ?$

Ечилиши. Электролиз йўли билан m массали алюминий олиш учун сарф бўлган электр энергияси W қуйидагига тенг бўлади:

$$W = \frac{qU}{\eta},$$

бунда q — электролиз вақтида электролитдан ўтган заряд миқдори, U — ваннага уланган манбанинг кучланиши, η — қурилманинг ФИК.

Заряд миқдори q ни Фарадейнинг биринчи ва иккинчи қонуналарининг бирлашган формулаларидан топиш мумкин:

$$m = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{z} q,$$

бунда A — модданинг моляр массаси, z — элемент атомининг валентлиги, F — Фарадей сони. Бу тенгламадан q ни аниқлаб қўқоридаги ўрнига қўйилса:

$$\begin{aligned} W &= \frac{z \cdot F \cdot U \cdot m}{\eta A} = \frac{3 \cdot 96,5 \cdot 10^6 \text{ Кл/кг} \cdot \text{экв} \cdot 10 \text{ В} \cdot 1 \text{ кг}}{0,8 \cdot 21 \text{ кг/кг} \cdot \text{атом}} = \\ &= \frac{3}{8} \frac{9,65 \cdot 10^8}{2,7} \text{ Кл} \cdot \text{В} = 1,34 \cdot 10^8 \text{ Ж} = 134 \text{ МЖ}. \end{aligned}$$

Жавоб: $W = 134 \text{ МЖ}$.

3- масала. Сувни электролиз қилиб $t = 27^\circ\text{C}$ ҳароратли ва нормал атмосфера босими ($p_0 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$) бўлганда $V = 5,0 \text{ л}$ кислород олиш учун ваннага уланган аккумулятор камида қандай q сифимга эга бўлиши керак? Нормал шароит ($p_0 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$, $T_0 = 273 \text{ К}$) даги кислороднинг зичлиги $\rho_0 = 1,43 \text{ кг/м}^3$, электрохимиявий эквиваленти эса $k = 8,29 \times 10^{-8} \text{ кг/Кл}$.

Берилган: $V = 5,0 \text{ л} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; $T = (273 + 27)\text{К} = 300\text{К}$;
 $p_0 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$; $\rho_0 = 1,43 \text{ кг/м}^3$; $k = 8,29 \cdot 10^{-8} \text{ кг/Кл}$.

Топиш керак: $q = ?$

Ечилиши: Электролиз учун зарур бўлган аккумуляторнинг сифими (яъни аккумуляторда мавжуд бўлган заряд) q ни Фарадейнинг электролиз учун биринчи қонунидан топамиз:

$$q = \frac{m}{k},$$

бундан m — ажралган кислороднинг массасини $m = \rho_0 V_0$ формуладан, V_0 — ҳажми эса Гей-Люссак қонуни $V_0 = V \frac{T_0}{T}$ дан топиш мумкин. Шундай қилиб,

$$\begin{aligned} q &= \frac{\rho_0 V}{k} \cdot \frac{T_0}{T} = \frac{1,43 \text{ кг/м}^3 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot 273 \text{ К}}{8,29 \cdot 10^{-8} \text{ Кл/кг} \cdot 300 \text{ К}} = \\ &= 7,85 \cdot 10^4 \text{ Кл} = 7,85 \cdot 10^4 \text{ А} \cdot \text{с}. \end{aligned}$$

Амалда аккумуляторнинг сифими ампер · соат (А · соат) ларда ифодаланади. Шунинг учун:

$$q = 7850 \text{ А} \cdot \text{с} = \frac{7850}{3600} \text{ А} \cdot \text{соат} = 21,8 \text{ А} \cdot \text{соат}.$$

Жавоб: $q = 21,8 \text{ А} \cdot \text{соат}$.

4-масала. Кумуш нитрат (AgNO_3) эритмасини электролиз қилишда $t = 2$ соат давомида катодда ажраладиган кумушнинг массаси m топилсин. Бунда ваннанинг қаршилиги $R = 5$ Ом бўлиб, унга $U = 2$ В кучланиш берилган, қутбланиш ЭЮК $\mathcal{E}_k = 0,8$ В. Кумушнинг моляр массаси $A = 107,87$ кг/кмоль, валентлиги $z = 1$ ва Фарадей сони $F = 9,65 \cdot 10^7$ Кл/кг · экв.

Берилган: $t = 2$ соат $= 7200$ с; $R = 5$ Ом; $U = 2$ В; $\mathcal{E}_k = 0,8$ В; $A = 107,87$ кг/кмоль; $z = 1$; $F = 9,65 \cdot 10^7$ Кл/кг · экв.

Топиш керак: $m = ?$

Ечилиши: Катодда ажраладиган кумушнинг массаси m ни Фарадейнинг биринчи ва иккинчи қонунларининг бирлашган формуласидан топиш мумкин:

$$m = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{Z} q = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{Z} I \cdot t.$$

Қутбланиш ЭЮК ни ҳисобга олганда занжирдан ўтаётган токнинг кучи қуйидагига тенг бўлади:

$$I = \frac{U - \mathcal{E}_k}{R}.$$

Ток кучи I нинг ифодасини юқоридаги ўрнига қўйиб, изланаётган массани топамиз:

$$m = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{Z} \cdot \frac{U - \mathcal{E}_k}{R} \cdot t = \frac{107,87 \cdot \frac{\text{кг}}{\text{к} \cdot \text{атом}} \cdot (2 \text{ В} - 0,8 \text{ В})}{9,65 \cdot 10^7 \frac{\text{Кл}}{\text{кг} \cdot \text{экв}} \cdot 1,5 \text{ Ом}} \cdot 7,2 \cdot 10^3 \text{ с} = 19,3 \cdot 10^{-4} \text{ кг} = 1,93 \text{ г}.$$

Жавоб: $m = 1,93$ г.

Мустақил ечиш учун масалалар

44.1. Мис сульфат (CuSO_4) эритмасидан $q = 5 \cdot 10^4$ Кл заряд ўтганда катодда ажралган миснинг массаси m ни топинг. Миснинг электрохимиявий эквиваленти $k = 3,3 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл.

Жавоб: $m = kq = 16,5 \cdot 10^{-3}$ кг $= 16,5$ г.

44.2. Кумуш нитрат (AgNO_3) эритмаси бўлган электролитик ваннадан $I = 2$ А ток ўтса, $t = 10$ мин дав мида катодда ажраладиган кумушнинг массаси m ни топинг. Кумушнинг электрохимиявий эквиваленти $k = 1,118 \cdot 10^{-6}$ кг/Кл.

Жавоб: $m = kIt = 1,34 \cdot 10^{-3}$ кг $= 1,34$ г.

44.3. Хлор кислотасини электролиз қилишда катодда $m_1 = 1,14$ г водород ажралиб чиққан вақт ичида анодда ажралиб

чиққан хлорнинг массаси m_2 ни топинг. Водороднинг электрохимиявий эквиваленти $k_1 = 1,045 \cdot 10^{-8}$ кг/Кл, хлорники эса $k_2 = 36,7 \cdot 10^{-8}$ кг/Кл.

$$\text{Жавоб: } m_2 = m_1 \frac{k_2}{k_1} = 39,8 \text{ г} = 40 \text{ г.}$$

44.4. Кумуш нитрат (AgNO_3) эритмаси $t = 3$ соат давомида электролиз қилинса, катодда ажралиб чиқадиган кумушнинг массаси m ни топинг. Ваннанинг қаршилиги $R = 1,2$ Ом, ванна қисқичларидаги кучланиш $U = 1,5$ В. Кумушнинг электрохимиявий эквиваленти $k = 1,118 \cdot 10^{-6}$ кл/Кл.

$$\text{Жавоб: } m = k \frac{U}{R} t = 25,2 \cdot 10^{-3} \text{ кг} = 25,2 \text{ г.}$$

44.5. Никель сульфат (NiSO_4) эритмасидан $q = 500$ Кл заряд ўтганда катодда ажраладиган никелнинг массаси m ни топинг. Никелнинг моляр массаси $A = 58,68$ кг/кмоль, валентлиги $z = 2$ ва Фарадей сони $F = 9,65 \cdot 10^7$ Кл/кг·эқв.

$$\text{Жавоб: } m = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{z} q = 152 \cdot 10^{-6} \text{ кг} = 152 \text{ мкг.}$$

44.6. Буюмларга кумуш қоплашда $j = 0,7$ А/дм² зичликли токдан фойдаланилади. Буюм сиртида $h = 54$ мкм қалинликдаги кумуш қатлами ҳосил бўлиши учун электролитдан токнинг ўтиши керак бўлган вақт t ни топинг. Кумушнинг зичлиги $\rho = 10,5 \cdot 10^3$ кг/м³, моляр массаси $A = 107,87$ кг/кмоль, валентлиги $Z = 1$ ва фарадей сони $F = 9,65 \cdot 10^7$ Кл/кг·эқв.

$$\text{Жавоб: } t = \frac{Z \rho h F}{j A} = 7200 \text{ с} = 2 \text{ соат.}$$

44.7. Агар кумушнинг моляр массаси $A_1 = 107,87$ кг/кмоль, валентлиги $Z=1$ ва электрохимиявий эквиваленти $K = 1,118 \times 10^{-6}$ кг/Кл, олтиннинг моляр массаси $A_2 = 196,967$ кг/кмоль, валентлиги $Z = 3$ бўлса, унинг электрохимиявий эквиваленти K_2 ни топинг.

$$\text{Жавоб: } K_2 = K_1 \frac{A_2}{A_1} \cdot \frac{Z_1}{Z_2} = 6,8 \cdot 10^{-7} \text{ кг/Кл} = 0,68 \text{ мг/Кл.}$$

44.8. Кумуш нитрат (AgNO_3) ва мис сульфат (CuSO_4) эритмаси солинган иккита электролитик ванна ўзаро кетма-кет уланган. $m_1 = 180$ мг кумуш ажратишга кетган вақт ичида ажралган миснинг массаси m_2 ни топинг. Кумушнинг моляр массаси $A_1 = 107,87$ кг/кмоль, валентлиги $Z = 1$, мисники эса $A_2 = 63,54$ кг/кмоль, $Z = 2$.

$$\text{Жавоб: } m_2 = m_1 \frac{A_2}{A_1} \cdot \frac{Z_1}{Z_2} = 53 \cdot 10^{-6} \text{ кг} = 53 \text{ мг.}$$

44.9. Алюминий уч оксиди (Al_2O_3) эритмасидан электролиз усули билан алюминий олишда электродлардаги потенциаллар айирмасы $U = 5$ В бўлганда, $I = 20$ кА ток ўтган бўлса, $m = 10^3$ кг алюминий олиш учун кетган вақт t ни ва сарф бўлган электр энергияси W ни топинг. Алюминий моляр массаси $A = 26,982$ кг/кмоль, валентлиги $Z = 3$ ва Фарадей сони $F = 9,65 \cdot 10^7$ Кл/кг-экв.

Жавоб: $t = \frac{ZmF}{I \cdot A} = 5376 \cdot 10^2 \text{ с} = 149 \text{ соат}$; $W = IUt = 14,9 \cdot 10^6 \text{ Вт} \times$
 $\times \text{соат} = 14,9 \text{ МВт} \cdot \text{соат}$.

44.10. Мис сульфат ($CuSO_4$) эритмаси солинган электролитик ваннада $t = 40$ мин давомида $m = 1,98$ г мис ажралган. Агар эритманинг қаршилиги $R = 1,3$ Ом, батареянинг ички қаршилиги $r = 0,3$ Ом, қутбланиш ЭЮК $\mathcal{E}_k = 1$ В бўлса, ваннани ток билан таъминлаш учун зарур бўлган батареянинг ЭЮК \mathcal{E} ни топинг. Миснинг моляр массаси $A = 63,54$ кг/кмоль, валентлиги $Z = 2$. Фарадей сони $F = 9,65 \cdot 10^7$ Кл/кг-экв.

Жавоб: $\mathcal{E} = \mathcal{E}_k + \frac{Zm(R+r)F}{A \cdot t} = 1 \text{ В} + 4 \text{ В} = 5 \text{ В}$.

44.11. Рух сульфат ($ZnSO_4$) эритмаси электролиз қилинганда катоддан $t = 50$ мин давомида $m = 2,04$ г рух ажралган. Агар электролитик ванна қисқичларидаги кучланиш $U = 4,2$ В, эритманинг қаршилиги $R = 1,8$ Ом бўлса, қутбланиш ЭЮК \mathcal{E}_k ни топинг. Рухнинг моляр массаси $A = 65,37$ кг/кмоль, валентлиги $Z = 2$ ва Фарадей сони $F = 9,65 \cdot 10^7$ Кл/кг-экв.

Жавоб: $\mathcal{E}_k = U - \frac{ZmRF}{A \cdot t} = 4,2 \text{ В} - 3,6 \text{ В} = 0,6 \text{ В}$.

44.12. Кумуш нитрат ($AgNO_3$) эритмасини $t = 1$ соат давомида электролиз қилинганда $m = 9,4$ г кумуш ажралди. Агар ванна қисқичларидаги кучланиш $U = 4,2$ В, ваннанинг қаршилиги $R = 1,5$ Ом бўлса, қутбланиш ЭЮК \mathcal{E}_k кутб ни топинг. Кумушнинг моляр массаси $A = 107,87$ кг/кмоль, валентлиги $Z = 1$ ва Фарадей сони $F = 9,65 \cdot 10^7$ Кл/кг-экв.

Жавоб: $\mathcal{E}_k = U - \frac{ZmRF}{A \cdot t} = 4,2 \text{ В} - 3,5 \text{ В} = 0,7 \text{ В}$.

IX 6 0 6. ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМНИНГ ФИЗИК АСОСЛАРИ

● *Параллел тоқларнинг ўзаро таъсир кучи* F ўтказгичлардан ўгаётган тоқларнинг кучлари I_1, I_2 га, ўтказгичнинг узунлигига l тўғри пропорционал бўлиб, улар орасидаги масофага r_0 га тесқари пропорционалдир, яъни:

$$F = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2I_1 \cdot I_2}{r_0} l, \quad (\text{IX.1})$$

бунда μ — муҳитнинг нисбий магнит сингдирувчанлиги, μ_0 — магнит доимийси бўлиб, унинг СИ системасидаги ифодаси қуйидагига тенг:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Н}}{\text{А}^2} = 12,56 \cdot 10^{-7} \text{ Н/А}^2 = 12,56 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}. \quad (\text{IX.2})$$

● *Контурнинг магнит моменти* p_m контурдан ўтаётган ток кучи I нинг контурнинг юзаси S га кўпайтмасига тенг:

$$p_m = IS. \quad (\text{IX.3})$$

● Индукцияси B бўлган магнит майдондаги I токли ёпиқ контурга таъсир қилувчи жуфт кучнинг айлантурувчи моменти M куйидаги формуладан аниқланади:

$$M = p_m B \sin \alpha, \quad (\text{IX.4})$$

бунда p_m — токли контурнинг магнит моменти α — магнит майдон индукция вектори \vec{B} нинг йўналиши билан контур текислигига туширилган нормал \vec{n} орасидаги бурчак.

● Бир жинсли ($\vec{B} = \text{const}$) магнит майдондаги токли ўтказгичга таъсир қилувчи Ампер кучи F_A ўтказгичдан ўтаётган токнинг кучи I га, ўтказгичнинг узунлиги l га, магнит майдоннинг индукцияси B га ва ўтказгич билан магнит индукция чизиқлари орасидаги бурчак α нинг синусига тўғри пропорционалдир, яъни:

$$F_A = IlB \sin \alpha. \quad (\text{IX.5})$$

● Бир жинсли ($\vec{B} = \text{const}$) магнит майдонда ҳаракатланаётган зарядли заррача таъсир қилувчи Лоренц кучи F_L зарранинг заряди q га, тезлиги v га, магнит майдоннинг индукцияси B га ва \vec{v} билан \vec{B} векторлар орасидаги бурчак α нинг синусига тўғри пропорционалдир:

$$F_L = qvB \sin \alpha. \quad (\text{IX.6})$$

● Магнит майдоннинг индукцияси B магнит майдоннинг кучланганлиги H билан қуйидагича боғланган:

$$\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}. \quad (\text{IX.7})$$

● Чексиз узун, тўғри бўлган I токли ўтказгич ҳосил қилган магнит майдоннинг индукцияси B ва кучланганлиги H қуйидаги формулалардан аниқланади:

$$B = \mu_0 \mu \frac{I}{2\pi r_0}, \quad H = \frac{B}{\mu_0 \mu} = \frac{I}{2\pi r_0}, \quad (\text{IX.8})$$

бунда r_0 — ўтказгичдан нуқтагача бўлган масофа.

● R радиусли айлана шаклидаги I токли ўтказгич марказидаги магнит майдоннинг индукцияси B ва кучланганлиги H қуйидаги формуладан аниқланади:

$$B = \mu_0 \mu \frac{I}{2R}, \quad H = \frac{B}{\mu_0 \mu} = \frac{I}{2R}. \quad (\text{IX.9})$$

I ток ўтаётган соленоид (тороид) ўзанида ҳосил бўлган магнит майдоннинг индукцияси B ва кучланганлиги H қуйидагига тенгдир.

$$B = \mu_0 \mu I n = \mu_0 \mu I \frac{N}{l}, \quad H = \frac{B}{\mu_0 \mu} = I n = I \frac{N}{l}, \quad (\text{IX.10})$$

бунда $n = \frac{N}{l}$ — соленоид (тороид) нинг узунлик бирлигига мос келган ўрамлар сони, l — соленоид (тороид) ўзагининг узунлиги, N — ўрамалар сони ва IN эса ампер ўрамлар сони.

● Берилган сирт орқали ўтаётган магнит индукция оқими Φ магнит майдон индукцияси B нинг юза S ҳамда сиртга туширилган нормал \vec{n} билан \vec{B} вектор орасидаги бурчак α косинусининг кўпайтмасига тенгдир:

$$\Phi = BS \cos \alpha. \quad (\text{IX.11})$$

● Фарадейнинг электромагнит индукция қонунига биноан, ёпиқ контурда ҳосил бўлган индукцион ЭЮК шу контур билан чегараланган юза орқали ўтаётган магнит индукция оқимининг ўзгариш тезлигининг тескари ишорали ифодасига тенг, яъни:

$$\mathcal{E}_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}. \quad (\text{IX.12})$$

● Бир жинсли ($\vec{B} = \text{const}$) магнит майдонда \vec{v} тезлик билан ҳаракатланаётган узунлиги l га тенг бўлган ўтказгич учларида ҳосил бўлган индукцион ЭЮК қуйидаги формуладан аниқланади:

$$\mathcal{E}_i = Blv \sin \alpha, \quad (\text{IX.13})$$

бунда α — магнит майдон индукция куч чизиқлари билан \vec{v} тезлик вектори орасидаги бурчак.

● Контурда ҳосил бўлган ўзиндукция ЭЮК ($\mathcal{E}_{\text{ўз}}$) ўтказгичдан ўтаётган токнинг ўзгариш тезлигининг тескари ишорали ифодасига пропорционалдир, яъни:

$$\mathcal{E}_{\text{ўз}} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}, \quad (\text{IX.14})$$

бунда L — пропорционаллик коэффициенти бўлиб, унга контурнинг индуктивлиги дейилади.

● Узунлиги l , кўндаланг кесими юзи S , ўрамлари сони N бўлган соленоиднинг индуктивлиги L қуйидаги формуладан аниқланади:

$$L = \mu_0 \mu n^2 V = \mu_0 \mu \left(\frac{N}{l}\right)^2 l \cdot S = \mu_0 \mu \frac{N^2}{l} S, \quad (\text{IX.15})$$

бунда $n = \frac{N}{l}$ соленоиднинг узунлик бирлигига мос келган ўрамлари сони, $V = lS$ — соленоиднинг ҳажми, μ — соленоид ўзига нисбий магнит сингдирувчанлиги, μ_0 — магнит доимийси.

● Муҳитнинг нисбий магнит сингдирувчанлиги μ муҳитдаги магнит майдоннинг индукцияси B вакуумдаги индукцияси B_0 дан неча мартага фарқ қилишини ифодалайди, яъни:

$$\mu = \frac{B}{B_0}. \quad (\text{IX.16})$$

● Индуктивлиги L га тенг бўлган соленоиддан I ток ўтаётганда шу соленоидда ҳосил бўлган магнит майдоннинг энергияси W_m қуйидаги формуладан аниқланади:

$$W_m = \frac{LI^2}{2}. \quad (\text{IX.17})$$

● Бир жисми ($\vec{B} = \text{const}$) магнит майдоннинг энергияси W_m қуйидаги формуладан аниқланади:

$$W_m = \frac{B^2}{2\mu_0 \mu} V = \frac{\mu_0 \mu H^2}{2} V = \frac{H \cdot B}{2} V, \quad (\text{IX.18})$$

бунда μ — магнит майдон ҳосил қилинган муҳитнинг нисбий магнит сингдирувчанлиги, V — магнит майдон эгаллаган фазонинг ҳажми.

● Магнит майдоннинг ҳажм бирлигига мос келган энергияси, яъни магнит майдон энергиясининг зичлиги қуйидаги тенг қучли ифодалардан аниқланади:

$$w_m = \frac{W_m}{V} = \frac{B^2}{2\mu_0 \mu} = \frac{\mu_0 \mu H^2}{2} = \frac{HB}{2}. \quad (\text{IX.19})$$

● Электромагнит майдоннинг тўлиқ энергияси зичлиги электр (w_e) ва магнит (w_m) майдонлар энергиялари зичликларининг йиғиндисига тенг бўлади:

$$\begin{aligned} w = w_e + w_m &= \frac{D^2}{2\epsilon_0 \epsilon} + \frac{H^2}{2\mu_0 \mu} = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} + \frac{\mu_0 \mu H^2}{2} = \\ &= \frac{ED}{2} + \frac{HB}{2}. \end{aligned} \quad (\text{IX.20})$$

45-§. ПАРАЛЛЕЛ ТОКЛАРНИНГ ЎЗARO TAЪСИРИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Икки параллел чексиз узун тўғри ўтказгич вакуум ($\mu = 1$) да бир-биридан $r_0 = 40$ см масофада жойлашган. Агар уларнинг биридан $I_1 = 12$ А, иккинчисидан эса $I_2 = 18$ А ток ўтаётган бўлса, симларнинг узунлик бирлигига таъсир қилувчи куч F/l топилсин. Магнит доимийлик $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Н/А².

Берилган. $I_1 = 12$ А; $I_2 = 18$ А; $r_0 = 0,4$ м; $\mu = 1$;

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Н/А}^2.$$

Топиш керак: $F/l = ?$

Ечилиши: Параллел токларнинг ўзаро таъсир кучи (Ампер кучи) қуйидаги формуладан аниқланади:

$$F = \mu_0 \mu \frac{I_1 I_2 l}{2\pi r_0},$$

бунда I_1, I_2 — ўтказгичлардан ўтаётган токларнинг кучи, l — ўтказгичларнинг узунлиги, r_0 — улар орасидаги масофа, μ — муҳитнинг нисбий магнит синдирувчанлиги, μ_0 — магнит доимийси. Юқоридаги формуладан изланаётган F/l катталикини топиб, унинг қийматини ҳисоблаймиз:

$$\frac{F}{l} = \mu_0 \mu \frac{I_1 \cdot I_2}{2\pi r_0} = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Н}}{\text{А}^2} \cdot 1 \cdot \frac{12 \text{ А} \cdot 18 \text{ А}}{2\pi \cdot 0,4 \text{ м}} = 1,08 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

Жавоб: $F/l = 1,0810^{-4}$ Н/м.

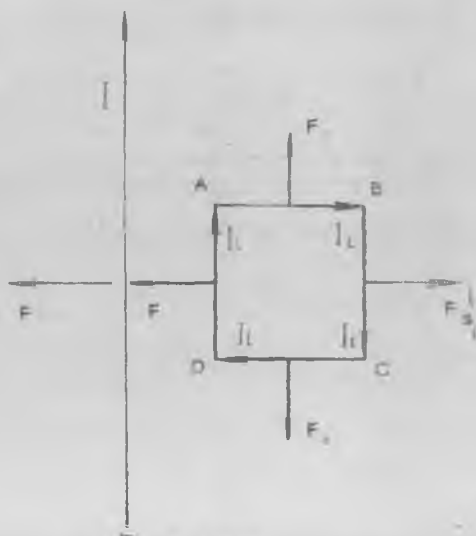
2-масала. $I = 12,5$ А ток ўтаётган узун тўғри ўтказгич яқинида $I_1 = 4$ А ток ўтаётган, томонлари $l = 40$ см дан бўлган квадрат контур жойлашган. Ўтказгич билан контур бир текисликда ётади. Агар тўғри ўтказгичдан контурнинг энг яқин томонигача бўлган масофа $a = 10$ см бўлса, контурга таъсир қилувчи F куч топилсин.

Магнит доимийси $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Н/А².

Берилган: $I = 12,5$ А; $I_1 = 4$ А; $l = 0,4$ м; $a = 0,1$ м; $\mu = 1$; $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Н/А².

Топиш керак: $F = ?$

Ечилиши: Масаланинг шартига мос келувчи расмини чизамиз (91-расм).



91-расм

Контурнинг AB ва DC томонларидан ўтаётган I_1 ток қарама-қарши йўналганлиги учун, бу томонлар ўзаро миқдор жиҳатдан тенг қарама-қарши йўналган \vec{F}_2 ва \vec{F}_4 кучлар билан ўзаро итаришади, яъни:

$$\vec{F}_2 = -\vec{F}_4 \text{ бундан } \vec{F}_2 + \vec{F}_4 = 0.$$

Шундай қилиб, контурга таъсир қилувчи натижаловчи \vec{F} куч контурнинг AD ва BC томонларига таъсир қилувчи \vec{F}_1 ва \vec{F}_3 кучларнинг геометрик йиғиндисига тенгдир:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_3.$$

\vec{F}_1 ва \vec{F}_3 кучлар ўзаро қарама-қарши йўналган бўлиб, параллел тоқларнинг ўзаро таъсир кучи (Ампер кучи)га биноан, унинг қиймати қуйидагига тенг:

$$F_1 = \mu_0 I_1^2 \frac{l l_1}{2\pi a} \quad F_3 = \mu_0 I_1^2 \frac{l l_1}{2\pi(a+l)}$$

Натижаловчи F кучнинг қиймати F_1 ва F_3 кучларнинг фарқи-га тенгдир:

$$\begin{aligned} F &= F_1 - F_3 = \mu_0 I_1^2 \frac{l l_1}{2\pi} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{a+l} \right) = \mu_0 I_1^2 \frac{l l_1^2}{2\pi a(a+l)} = \\ &= 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Н}}{\text{А}^2} \cdot 1 \cdot \frac{12,5 \text{ А} \cdot \text{А}}{2\pi} \cdot \frac{0,16 \text{ м}}{0,1 \text{ м} \cdot 0,5 \text{ м}} = 320 \cdot 10^{-7} \text{Н} = 32 \text{ мкН}. \end{aligned}$$

Жавоб: $F = 32 \text{ мкН}$.

3-масала. Вакуум ($\mu = 1$) даги ҳар бир метрининг массаси $m/l = 20 \text{ г/м}$ бўлган икки параллел чексиз узун тўғри ўтказгичларга параллел жойлашган ўққа узунлиги $l_0 = 10 \text{ см}$ га тенг вазнсиз иплар билан осилган. Агар ўтказгичлардан миқдор жиҳатдан тенг қарама-қарши йўналган тоқлар ўтганда иплар вертикалдан $\alpha = 20^\circ$ бурчакка оғган бўлса, тоқнинг кучи I топилсин.

Берилган: $\frac{m}{l} = 20 \text{ г/м} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ кг/м}$; $l = 0,1 \text{ м}$; $\alpha = 20^\circ$;

$$\mu = 1; \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Н/А}^2.$$

Топиш керак: $I = ?$

Ечилиши: Масаланинг шартига мос келувчи расмни чизамиз (9.2-расм). Параллел тоқларнинг йўналиши қарама-қарши бўлганлиги учун улар ўзаро итаришади. Ўтказгичга таъсир қилувчи куч қуйидаги формуладан аниқланади:

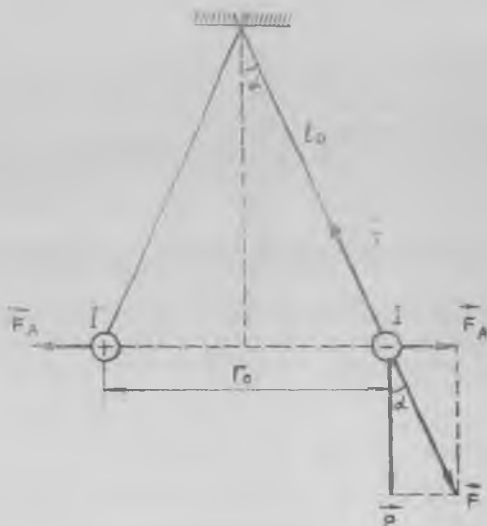
$$F_A = \mu_0 I^2 \frac{l_1 l_2}{2\pi r_0} = \mu_0 I^2 \frac{l l}{2\pi r_0}$$

бунда l — ўтказгичнинг узунлиги, r_0 — ўтказгичлар орасидаги масофа. Чизмага асосланиб қуйидаги муносабатларини ёзамиз:

$$r_0 = 2l_0 \sin \alpha \text{ ва} \\ F_A = Ptg \alpha,$$

бунда l_0 — ипнинг узунлиги, $P = mg$ — ўтказгичнинг оғирлиги, m — эса унинг массаси, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ — эркин тушиш тезланиши.

Бу ифодаларни юқорида ўрнига қўйилса, қуйидаги келиб чиқади:



9.2- расм

$$P \operatorname{tg} \alpha = \mu_0 \mu \frac{I^2 l}{2\pi r_0} \quad \text{ёки} \quad mg \operatorname{tg} \alpha = \mu_0 \mu \frac{I^2 l}{2\pi 2l_0 \sin \alpha}$$

Бундан изланаётган токнинг кучи I ни аниқлаш мумкин:

$$I = \sqrt{\frac{4\pi}{\mu_0 \mu} \cdot \frac{m}{l} g l^2 \sin \alpha \operatorname{tg} \alpha} = \\ = \sqrt{\frac{4\pi}{4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Н/А} \cdot 1} \cdot 2 \cdot 10^{-2} \text{ кг/м} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 0,1 \text{ м} \cdot \sin 20^\circ \operatorname{tg} 20^\circ} = \\ = 152 \text{ А.}$$

Жавоб: $I = 152 \text{ А}$

Мустақил ечиш учун масалалар

45.1. Иккита параллел симли кабелдан қарама-қарши йўналишда $I = 500 \text{ А}$ дан ток ўтмоқда. Агар симлар орасидаги масофа $r_0 = 20 \text{ мм}$ бўлса, симларнинг ҳар метри ($l = 1 \text{ м}$) га таъсир қилувчи F кучни топинг.

Жавоб: $F = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{2I^2}{r_0} l = 2,5 \text{ Н.}$

45.2. Иккита узун параллел кабель сим бир-биридан $r_0 = 15 \text{ мм}$ масофада жойлашган. Агар кабель симлар қисқа туташганда улардан $I = 30 \text{ кА}$ ток ўтса, симнинг ҳар $l = 1 \text{ м}$ га таъсир қилувчи F кучни топинг.

Жавоб: $F = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{2I_0^2}{r_0} l = 12 \cdot 10^3 \text{ Н} = 12 \text{ кН.}$

45.3. Линияда қисқа туташув юз берганда тақсимлаш қурилмасининг шиналари орқали $I=60$ кА ток кучи ўтган бўлса, бир-биридан $r_0=10$ см масофада турган иккита параллел ўтказгичларнинг ҳар $l=1.2$ м узунлигига таъсир қилувчи F куч нимага тенг бўлади?

$$\text{Жавоб: } F = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{2I_0^2}{r_0} l = 8,64 \cdot 10^3 \text{ Н} = 8,64 \text{ кН.}$$

45.4. $I=1$ А деб, вакуум ($\mu=1$) да бир-биридан $r_0=1$ м масофада жойлашган иккита чексиз узун параллел ўтказгичнинг ҳар $l=1$ м узунлигига $F=2 \cdot 10^{-7}$ Н таъсир кучини ҳосил қиладиган ўтказгичдаги токнинг кучига айтилса, магнит доимийси μ_0 нинг қийматини топинг.

$$\text{Жавоб: } \mu_0 = \frac{4 \cdot r_0 F}{2\mu I^2 l} = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Н}}{\text{А}^2} = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м.}$$

45.5. $I=100$ А дан ток ўтаётган иккита чексиз узун параллел ўтказгич вакуум ($\mu=1$) да жойлашган. Агар ўтказгичларнинг ўзаро таъсирлашиши натижасида $l=75$ см узунликли қисмига $F=5 \cdot 10^{-2}$ Н куч таъсир этса, ўтказгичларнинг орасидаги масофа қандай бўлади?

$$\text{Жавоб: } r_0 = \frac{\mu_0 I^2}{4\pi} \cdot \frac{2l}{F} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 3 \text{ см.}$$

45.6. Иккита параллел чексиз узун тўғри ўтказгич вакуум ($\mu=1$) да бир-биридан $r_0=6$ см масофада жойлашган. Уларнинг биридан $I_1=30$ А, иккинчисидан эса $I_2=20$ А ток ўтади. Ўтказгичларнинг $F=6 \cdot 10^{-3}$ Н куч билан ўзаро таъсирлашадиган узунлиги l ни топинг.

$$\text{Жавоб: } l = \frac{4\pi r_0 F}{\mu_0 2I_1 I_2} = 3 \text{ м.}$$

45.7. Агар бирор токли ўтказгич $I_1=60$ А ток ўтаётган параллел ўтказгичнинг $l=2,4$ м узунлигига $F=3,2 \cdot 10^{-3}$ Н куч билан таъсир этаётган бўлса, ундан ўтаётган токнинг кучи I_2 ни топинг. Ўтказгичлар орасидаги масофа $r_0=15$ см.

$$\text{Жавоб: } I_2 = \frac{4\pi r_0 F}{2\mu_0 I_1 l} = 16,7 \text{ А.}$$

45.8. Учта чексиз узун параллел ўтказгич бир-биридан $r_0=0,5$ м оралиқда вакуум ($\mu=1$) да жойлашган. Ҳар бир ўтказгич орқали $I=100$ А дан ток ўтмоқда. Биринчи ва иккинчи ўтказгичлардан ўтаётган тоklar бир хил йўналган бўлса, ҳар бир ўтказгичнинг $l=1$ м ига таъсир қилувчи кучлар F_1 , F_2 ва F_3 ни топинг.

$$\text{Жавоб: } F_1 = F_{12} - F_{13} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{2I^2}{r_0} - \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{2I^2}{2r_0} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{I^2}{r_0} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$$

$$F_2 = F_{12} + F_{23} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{2I^2}{r_0} + \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{2I^2}{r_0} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{4I^2}{r_0} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ Н};$$

$$F_3 = F_{13} - F_{23} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{2I^2}{r_0} + \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{2I^2}{r_0} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{3I^2}{r_0} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ Н.}$$

45.9. Битта текисликда ҳар бирининг узунлиги $l = 1$ м дан бўлган учта параллел ўтказгич жойлашган. Агар ўртадаги ўтказгичдан оқаётган токнинг йўналиши икки четки ўтказгичлардаги токнинг йўналишига тескари бўлса, ўртадаги ўтказгичга таъсир қилувчи натижаловчи куч F ни топинг. Ўтказгичлардан ўтаётган тоқларнинг кучи: $I_1 = 20$ А, $I_2 = 10$ А, $I_3 = 5$ А, ўтказгичлар орасидаги масофа: $r_1 = 5$ см ва $r_2 = 10$ см.

$$\text{Жавоб: } F = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot 2I_2 \left(\frac{I_1}{r_1} - \frac{I_3}{r_2} \right) l = 7 \cdot 10^{-4} \text{ Н.}$$

45.10. Иккита параллел сим изоляторларга маҳкамланган. Симлар орасидаги масофа $r_0 = 4$ см, қўшни изоляторлар орасидаги масофа $l = 2$ м. Симлардан $U = 120$ В кучланиш остида $N = 24$ кВт қувват истеъмол қилувчи электродвигателга ток ўтганда, симлар изоляторга қандай F куч билан таъсир қилади? Симларнинг оғирлигини ҳисобга олманг.

$$\text{Жавоб: } F = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} 2 \left(\frac{N}{U} \right)^2 \frac{l}{r_0} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ Н.}$$

46-§. ТОКЛИ КОНТУРНИНГ МАГНИТ МОМЕНТИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Гальванометрнинг $N = 40$ та ўрамли тўғри тўртбурчак шаклдаги рамкаси $B_0 = 0,8$ Тл индукцияли бир жинсли магнит майдонда жойлашган. Агар рамкага $M_{\max} = 6,4 \cdot 10^{-4}$ Нм бўлган максимал айлантирувчи куч momenti таъсир этаётган бўлса, рамкадан ўтаётган токнинг кучи I топилсин. Рамканинг юзаси $S = 10$ см². Рамка текислигига ўтказилган нормал \vec{n} билан магнит индукция вектори \vec{B} орасидаги бурчак $\alpha = 60^\circ$ бўлса, контур орқали ўтувчи тўлиқ, магнит индукция оқими Ψ топилсин.

$$\text{Берилган: } B = 0,8 \text{ Тл; } N = 40; M_{\max} = 5,4 \cdot 10^{-4} \text{ Н} \cdot \text{м}; \\ S = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2; \alpha = 60^\circ.$$

$$\text{Топиш керак: } I = ? \Psi = ?$$

Ечилиши: Контур текислигига ўтказилган нормаль \vec{n} билан магнит индукция вектори \vec{B} орасидаги бурчак 90° бўлганда

рамкани айлантирувчи куч моменти максимал қийматга эга бўлиб, у қуйидаги муносабатдан аниқланади:

$$M'_{\max} = P_m B = ISB,$$

бунда $P_m = IS$ —рамканинг магнит моменти, I —рамкадан ўтаётган ток кучи, S —рамка сирти юзаси, B —магнит майдоннинг индукцияси.

Рамка N та ўрамдан иборат бўлганлиги сабабли унга таъсир этувчи натижаловчи куч моменти ҳар бир ўрамга таъсир этувчи моментларнинг йиғиндисига тенг бўлади:

$$M_{\max} = M'_{\max} N = ISBN,$$

бундан ток кучи I ни топиб, унинг қийматини ҳисоблаймиз:

$$I = \frac{M_{\max}}{BSN} = \frac{6,4 \cdot 10^{-4} \text{ Н} \cdot \text{м}}{0,8 \text{ Тл} \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot 40} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ А} = 0,02 \text{ А}.$$

Рамканинг битта ўрами орқали ўтувчи магнит индукция оқими қуйидаги формуладан аниқланади:

$$\Phi = BS \cos \alpha,$$

бунда α —рамка текислигига ўтказилган \vec{n} нормаль билан \vec{B} вектор орасидаги бурчак. Рамка орқали ўтувчи тўла магнит индукция оқими Ψ ҳам ҳар бир контур орқали ўтувчи магнит индукция оқими Φ дан N марта катта бўлади:

$$\begin{aligned} \Psi &= N\Phi = NBS \cos \alpha = 40 \cdot 0,8 \text{ Тл} \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \cos 60^\circ = \\ &= 32 \cdot 10^{-3} \text{ Вб} \cdot 0,5 = 16 \cdot 10^{-3} \text{ Вб} = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ Вб}. \end{aligned}$$

Жавоб: $I = 0,02 \text{ А}$; $\Psi = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ Вб}$

2-масала. Индукцияси $B = 0,2$ Тл бўлган бир жинсли магнит майдонда $r = 30$ см радиусли, ўрамлари сони $N = 75$ бўлган юпқа ғалтак турибди. Агар ғалтак ўрамлари орқали $I = 8$ А ток ўтаётган бўлса, ғалтакнинг магнит моменти P_m ва ғалтакка таъсир этувчи айлантирувчи куч моменти M нимага тенг бўлади? Ғалтак текислигига ўтказилган нормаль \vec{n} билан \vec{B} вектор орасидаги бурчак $\alpha = 30^\circ$.

Берилган: $B = 0,2$ Тл; $I = 8$ А; $N = 75$; $\alpha = 30^\circ$; $r = 30$ м.

Топиш керак: $P_m = ?$ $M = ?$

Ечилиши: Токли ғалтакнинг магнит моменти P_m ҳар бир контурнинг $P_m = IS$ магнит моментларининг йиғиндисига тенгдир:

$$P_m = NP_{m_i} = NIS,$$

бунда N —ўрамлар сони, I —контурдан ўтаётган ток кучи, $S = \pi r^2$ —контурнинг юзи, r —контур ўрамининг радиуси. Шун-

дай қилиб, токли ғалтакнинг магнит моментини қуйидаги формула асосида ҳисоблаб топамиз:

$$P_m = N I \pi r^2 = 75 \cdot 8 \text{ А} \cdot 3,14 \cdot 0,09 \text{ м}^2 = 170 \text{ А} \cdot \text{м}^2.$$

Магнит майдондаги токли ғалтакка таъсир этувчи айлантирувчи момент M нинг қийматини ҳисоблаб топамиз:

$$\begin{aligned} M &= P_m B \sin \alpha = 170 \text{ А} \cdot \text{м}^2 \cdot 0,2 \text{ Тл} \cdot \sin 30^\circ = \\ &= 170 \cdot 0,2 \cdot 0,5 \text{ Н} \cdot \text{м} = 1,7 \text{ Н} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

Жавоб: $P_m = 170 \text{ А} \cdot \text{м}^2$, $M = 1,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$

Мустақил ечиш учун масалалар

46.1. $I = 12 \text{ А}$ ток ўтаётган, томонлари $a = 20 \text{ см}$ ва $b = 30 \text{ см}$ дан бўлган тўғри тўртбурчак шаклидаги контурнинг магнит momenti P_m ни топинг.

Жавоб: $P_m = IS = lab = 0,72 \text{ А} \cdot \text{м}^2$.

46.2. $I = 8 \text{ А}$ ток ўтаётган $N = 120$ ўрамга эга бўлган $r = 20 \text{ см}$ радиусли ғалтакнинг магнит momenti P_m ни топинг.

Жавоб: $P_m = NI \cdot S = NI \pi r^2 = 120 \text{ А} \cdot \text{м}^2$.

46.3. Гальванометрнинг тўғри тўртбурчак шаклидаги рамкасида $I = 150 \text{ мкА}$ ток ўтаётган бўлса, рамканинг магнит momenti P_m ни топинг. Рамканинг томонлари $a = 3 \text{ см}$, $b = 4 \text{ см}$ ва ўрамлар сони $N = 40$ та.

Жавоб: $P_m = NIS = Nlab = 7,2 \cdot 10^{-6} \text{ А} \cdot \text{м}^2$.

46.4. Агар индукцияси $B = 0,25 \text{ Тл}$ бўлган бир жинсли магнит майдонга жойлаштирилган токли рамкага таъсир қилувчи максимал айлантирувчи куч momenti $M_{\max} = 20 \text{ Нм}$ га тенг бўлса, рамканинг магнит momenti P_m ни топинг.

Жавоб: $P_m = \frac{M_{\max}}{B} = 80 \text{ А} \cdot \text{м}^2$.

46.5. Агар бир жинсли магнит майдонда жойлашган, кўндаланг кесими юзи $S = 0,6 \text{ м}^2$, ўрамлари сони $N = 200$ бўлган ва $I = 20 \text{ А}$ ток ўтаётган ғалтакка таъсир қилувчи айлантирувчи куч моментининг максимал қиймати $M_{\max} = 24 \text{ Н} \cdot \text{м}$ бўлса, магнит майдоннинг индукцияси B ни топинг.

Жавоб: $B = \frac{M_{\max}}{NIS} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ Тл}$.

46.6. Магнит momenti $P_m = 400 \text{ А} \cdot \text{м}^2$ булган ўрам вакуум ($\mu = 1$) даги бир жинсли магнит майдонга жойлаштирилганда унга $M = 1,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$ га тенг айлантирувчи куч momenti таъсир қилса, майдоннинг кўчланганлиги H ни топинг. Ўрамнинг сиртига

ўтказилган нормаль \vec{n} билан майдон куч чизиқлари орасидаги бурчак $\alpha = 30^\circ$.

$$\text{Жавоб: } H = \frac{M}{\mu_0 \mu_r P_m \sin \alpha} = 47,8 \cdot 10^3 \text{ А/м} = 47,8 \text{ кА/м.}$$

46.7. Вакуум ($\mu = 1$) даги кучланганлиги $H = 2 \cdot 10^5$ А/м бўлган бир жинсли магнит майдонда $r = 26$ см радиусли $N = 150$ ўрамли ясси ғалтакнинг текислиги магнит куч чизиқлари билан $\beta = 60^\circ$ бурчак ташкил қилади. Агар ғалтак ўрамлари орқали $I = 8$ А ток ўтаётган бўлса, ғалтакка таъсир этувчи айлантирувчи куч моменти M ни топинг.

$$\text{Жавоб: } M = \mu_0 \mu_r H N \pi r^2 \cos \beta = 32 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

46.8. Агар $B = 0,5$ Тл индукцияли бир жинсли майдонда жойлашган, $I = 16$ А твк ўтаётган, қўндаланг кесими юзи $S = 0,5$ м² бўлган контурга $M = 2$ Н·м айлантирувчи куч моменти таъсир қилса, контурнинг сирти билан B вектор орасидаги бурчак β ни топинг.

$$\text{Жавоб: } \beta = \arccos \frac{M}{IBS} = 60^\circ.$$

46.9. Агар $I = 3,2$ А ток ўтаётган, ўрамлари сони $N = 36$ бўлган юпқа ғалтак $B = 0,01$ Тл индукцияли бир жинсли магнит майдонга жойлаштирилганда унга $M_{\max} = 1,44 \cdot 10^{-3}$ Н·м бўлган максимал куч моменти таъсир қилса, ғалтакнинг радиуси r ни топинг.

$$\text{Жавоб: } r = \sqrt{\frac{M_{\max}}{BNIN}} \approx 2 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 2 \text{ см.}$$

46.10. $r = 2$ см радиусли $N = 400$ ўрамга эга бўлган тўғри ғалтакнинг ўқи магнит меридиани текислигида горизонтал ҳолда жойлашган. Ғалтак орқали $I = 6$ А ток ўтади. Агар Ернинг магнит майдонининг кучланганлиги $H = 40$ А/м бўлиб, оғиш бурчаги $\alpha = 70^\circ$ бўлса, унга таъсир этадиган айлантирувчи момент M ни топинг.

$$\text{Жавоб: } M = \mu_0 \mu_r H \cdot N I \pi r^2 \sin \alpha = 1,42 \cdot 10^{-4} \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

47-§. АМПЕР КУЧИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Магнит майдон куч чизиқлари йўналишига $\alpha = 30^\circ$ бурчак остида жойлашган $l = 0,25$ м узунликдаги тўғри ўтказгичга $F_A = 3$ Н куч таъсир қилади. Агар ўтказгичдаги ток кучи $I = 30$ А бўлса, магнит майдоннинг индукцияси B топилин.

$$\text{Берилган: } l = 0,25 \text{ м; } F_A = 3 \text{ Н; } \alpha = 30^\circ; I = 30 \text{ А.}$$

$$\text{Топиш керак: } B = ?$$

Ечилиши: Ампер қонунига биноан магнит майдондаги ток-ли ўтказгичга $F_A = IlB \sin \alpha$ куч таъсир қилади. Бундан изланаётган магнит майдоннинг индукцияси B қуйидагига тенг бўлади:

$$B = \frac{F_A}{l \sin \alpha}$$

Бу ерда l —ўтказгичдан ўтаётган токнинг кучи, l —ўтказгичнинг узунлиги, α —магнит куч чизиқлари билан ўтказгич орасидаги бурчак. Берилган қийматларни бу формулага қўйиб ҳисоблашларни бажарсак:

$$B = \frac{F_A}{l \sin \alpha} = \frac{3\text{Н}}{30\text{ А} \cdot 0,25\text{ м} \cdot \sin 30^\circ} = \frac{4\text{Н}}{5\text{ м} \cdot \text{А}} = 0,8\text{ Тл.}$$

Жавоб: $B = 0,8\text{ Тл.}$

2-масала. Индукцияси $B = 0,4\text{ Тл}$ бўлган магнит майдонда куч чизиқлари йўналишига $\alpha = 45^\circ$ бурчак остида жойлашган $l = 0,5\text{ м}$ узунликдаги ўтказгичга $F_A = 0,42\text{ Н}$ куч таъсир қилмоқда. Ўтказгичдан ўтаётган токнинг кучи I топилсин.

Берилган: $B = 0,4\text{ Тл}$, $l = 0,5\text{ м}$; $F_A = 0,25\text{ Н}$; $\alpha = 45^\circ$.

Топиш керак: $I = ?$

Ечилиши. Бир жинсли магнит майдондаги токли ўтказгичга Ампер кучи таъсир қилади:

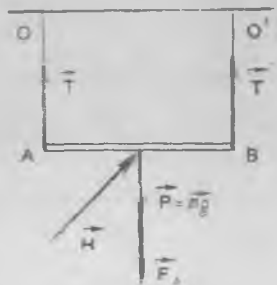
$$F_A = IlB \sin \alpha,$$

бунда l —ўтказгичдан ўтаётган токнинг кучи, l —ўтказгичнинг узунлиги, B —магнит майдоннинг индукцияси. α —магнит куч чизиқлари билан ўтказгич орасидаги бурчак. Юқоридаги формуладан изланаётган ток кучи

$$I = \frac{F_A}{Bl \cdot \sin \alpha} = \frac{0,42\text{ Н}}{0,4\text{ Тл} \cdot 0,5\text{ м} \cdot \sin 45^\circ} = 3\text{ А.}$$

Жавоб: $I = 3\text{ А}$

3-масала. Узунлиги $l = 30\text{ см}$ ва массаси $m = 5\text{ г}$ бўлган AB тўғри ўтказгич вазнсиз OB ва $O'B$ ипларга осиб қўйилган (9.3-расм). Магнит майдон куч чизиқлари ўтказгичга перпендикуляр равишда горизонтал йўналган. Ҳар бир $F_A = 4 \cdot 10^{-2}\text{ Н}$ юкланишга чидай оладиган иплар узилиб кетиши учун ўтказгичдан қандай I ток ўлиши керак? Магнит майдоннинг кучланганлиги $H = 39,2 \times 10^3\text{ А/м}$.



9.3- расм.

Берилган $l = 0,3$ м; $m = 5 \cdot 10^{-3}$ кг; $H = 39,2 \cdot 10^3$ А/м; $\alpha = 90^\circ$;
 $T > F_k = 4 \cdot 10^{-2}$ Н; $\mu = 1$; $\mu_0 = 12,76 \cdot 10^{-7}$ Гн/м.

Топиш керак: $I = ?$

Ечилиши: Токли ўтказгичга таъсир қилувчи кучлар — ип-ларнинг иккита бир хил \vec{T} таранглик кучи. $\vec{P} = m\vec{g}$ оғирлик кучи ва магнит майдоннинг $F_A = IlB \sin \alpha$ Ампер кучидан иборат бўлиб, бунда I — ўтказгичдан ўтаётган токнинг кучи, l — ўтказгичнинг узунлиги, B — магнит майдоннинг индукцияси, α — ўтказгич билан магнит майдон куч чизиқлари орасидаги бурчак.

Агар ўтказгич мувозанат ҳолатда бўлса, $2T - P - F_A = 0$ бўлиб, бундан $T = \frac{P + F_A}{2}$ бўлади. У ҳолда иплар узилиши учун қуйидаги шарт бажарилиши керак:

$$T = \frac{P + F}{2} \geq F_H \text{ ёки } T = \frac{mg + l B \sin \alpha}{2} \geq F_H.$$

Бу ифодадан изланаётган ток кучи:

$$I \geq \frac{2F - mg}{Bl \sin \alpha} = \frac{2F - mg}{\mu_0 \mu H l \sin \alpha} = \frac{2 \cdot 4 \cdot 10^{-2} \text{ Н} - 5 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2}{12,56 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м} \cdot 1 \cdot 392 \cdot 10^3 \text{ А/м} \cdot 0,3 \text{ м} \cdot \sin 90^\circ} = 2,1 \text{ А}.$$

Мустақил ечиш учун масалалар

47.1. Магнит майдоннинг куч чизиқларига перпендикуляр жойлашган, узунлиги $l = 50$ см бўлган тўғри ўтказгичга $F_A = 5$ Н куч таъсир қилади. Агар ўтказгичдан ўтаётган токнинг кучи $I = 20$ А бўлса, магнит майдоннинг индукцияси B нимага тенг бўлади?

Жавоб: $B = \frac{F_A}{I \cdot l} = 0,5$ Тл.

47.2. Индукцияси $B = 0,8$ Тл бўлган бир жинсли магнит майдонда $I = 16$ А ток ўтаётган ўтказгич магнит индукция чизиқларида $\alpha = 30^\circ$ бурчак остида жойлашган. Агар ўтказгичнинг узунлиги $l = 1,25$ м бўлса, ўтказгичга таъсир қилувчи F_A кучни топинг.

Жавоб: $F_A = IlB \sin \alpha = 8$ Н.

47.3. $I = 15$ А ток ўтаётган тўғри ўтказгичга $B = 0,4$ Тл индукцияли бир жинсли магнит майдонда $F_A = 1,6$ Н куч таъсир этади. Агар ўтказгич магнит индукцияси чизиқларига нисба-

тан $\alpha = 60^\circ$ бурчак остида жойлашган бўлса, ўтказгичнинг узунлиги l ни топинг.

$$\text{Жавоб: } l = \frac{F_A}{IB \sin \alpha} = 0,31 \text{ м.}$$

47.4. Индукцияси $B = 0,5$ Тл бўлган бир жинсли магнит майдонда жойлашган $l = 2,0$ м узунликдаги тўғри ўтказгичга $F_A = 4$ Н куч таъсир этади. Агар ўтказгичдан ўтаётган токнинг кучи $I = 8$ А бўлса, ўтказгич билан магнит майдон индукцияси орасидаги бурчак α ни топинг.

$$\text{Жавоб: } \alpha = \arcsin \frac{F_A}{IlB} = 30^\circ.$$

47.5. Электродвигателдан $I = 25$ А ток ўтганда унинг якори чулғами симига $F_A = 1,2$ Н кучи таъсир қилади. Агар симнинг узунлиги $l = 20$ см бўлса, сим жойлашган жойдаги магнит майдоннинг индукцияси B ни топинг.

$$\text{Жавоб: } B = \frac{F_A}{lI} = 20 \text{ Тл.}$$

47.6. Узунлиги $l = 25$ см ва массаси $m = 4$ г бўлган горизонтал жойлашган ўтказгичдан $I = 12$ А ток ўтмоқда. Оғирлик кучи Ампер кучи билан мувозанатлашган. Магнит майдоннинг индукцияси B ни топинг.

$$\text{Жавоб: } B = \frac{mg}{Il} = 1,31 \cdot 10^{-4} \text{ Тл.}$$

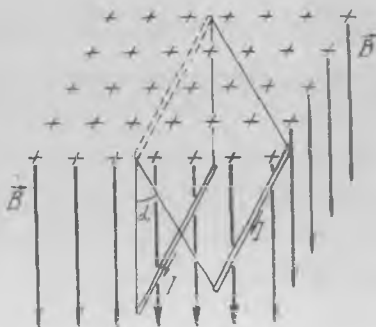
47.7. Индукцияси $B = 0,5$ Тл бўлган вертикал йўналган бир жинсли магнит майдонда узунлиги $l = 0,2$ м, оғирлиги $P = 0,2$ Н бўлган ўтказгич иккита ингичка ип ёрдамида горизонтал равишда осилган (9.4- расм). Агар ўтказгичдан $I = 2$ А ток ўтса, иплар вертикал йўналишдан қандай α бурчакка оғади?

$$\text{Жавоб: } \alpha = \arctg \frac{IlB}{P} = 45^\circ.$$

47.8 Узунлиги $l = 0,4$ м ва массаси $m = 204$ г бўлган ўтказгич икки динамометрга осилган ва $B = 0,5$ Тл индукцияли, ўтказгичга перпендикуляр йўналган горизонтал магнит майдонга жойлаштирилган. Ўтказгичдан $I = 6$ А ток ўтмоқда. Динамометрнинг кўрсатиши F ни топинг.

$$\text{Жавоб: } F_1 = \frac{mg + IlB}{2} = 1,6 \text{ Н;}$$

$$F_2 = \frac{mg - IlB}{2} = 0,4 \text{ Н.}$$



9.4- расм

47.9. Узунлиги $l = 16$ см бўлган $I = 25$ А ток ўтаётган ўтказгич индукцияси $B = 0,4$ Тл бўлган бир жинсли магнит майдонда куч чизиқларига перпендикуляр равишда $s = 20$ см силжиганда бажарилган A ишни топинг.

Жавоб: $A = F \cdot s = IBS = 0,32$ Ж.

47.10. Горизонтал магнит қутблари орасига оғирлиги $P = 0,1$ Н ва узунлиги $l = 0,15$ м бўлган тўғри ўтказгич иккита ингичка симда горизонтал равишда осилган. Бир жинсли магнит майдоннинг индукцияси $B = 0,4$ Тл бўлиб, вертикал йўналган. Агар ўтказгичдан $I = 2$ А ток ўтса, ўтказгич вертикалга нисбатан қандай α бурчакка оғади? Ингичка симларнинг оғирлигини ҳисобга олманг.

Жавоб: $\alpha = \arctg \frac{IlB}{P} = \arctg 1,2 = 50^\circ 12'$.

48-§. ЛОРЕНЦ КУЧИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Протон кучланганлиги $H = 5 \cdot 10^3$ А/м бўлган бир жинсли магнит майдонга куч чизиқларига тик равишда $v = 10^6$ м/с тезлик билан кирган. Унга таъсир қилувчи Лоренц кучи топилсин. Протоннинг заряди $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Берилган: $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл; $H = 5 \cdot 10^3$ А/м; $v = 10^6$ м/с;

$\alpha = 90^\circ$; $\mu = 1$; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м = $12,56 \cdot 10^{-7}$ Гн/м

Топиш керак: $F_L = ?$

Ечилиши. Бир жинсли магнит майдонга v тезлик билан кирган заррача (протон)га таъсир қилувчи куч Лоренц формуласидан аниқланади:

$$F_L = evB \sin \alpha,$$

бунда e — протоннинг заряди, α — протоннинг йўналиши билан магнит майдон куч чизиқлари орасидаги бурчак, B — магнит майдон индукцияси бўлиб, у магнит майдон кучланганлиги H билан қуйидагича боғланган:

$$B = \mu_0 \mu H.$$

Бу ерда μ — муҳитнинг нисбий магнит сингдирувчанлиги; μ_0 — магнит доимийси бўлиб, „СИ“ системада қуйидагича тенг:

$$\mu_0 = 4 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м} = 12,56 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м} = 12,56 \cdot 10^{-7} \text{ Н/А}^2,$$

Магнит майдон индукцияси B нинг ифодасини юқоридаги ўрнига қўйиб, протонга таъсир қилувчи F кучни ҳисоблаб топамиз:

$$F_L = \mu_0 \mu e v H \sin \alpha = 12,56 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Н}}{\text{А}^2} \cdot 1 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \times$$

$$\times 10^6 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 5 \cdot 10^3 \frac{\text{А}}{\text{м}} \sin 90^\circ \approx 1 \cdot 10^{-16} \text{ Н}.$$

Жавоб: $r_{\text{Л}} = 1 \cdot 10^{-15}$ н.

2- масала. Индукцияси $B = 10^{-3}$ Тл бўлган бир жинсли магнит майдонда $R = 1,5$ см радиусли айлана бўйлаб ҳаракатланаётган электроннинг тезлиги v топилсин. Электроннинг массаси $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг, заряди $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Берилган: $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг; $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл; $B = 10^{-3}$ Тл;
 $R = 1,5 \cdot 10^{-2}$ м; $\alpha = 90^\circ$.

Топиш керак: $v = ?$

Ечилиши: Магнит майдонда ҳаракатланаётган электронга таъсир қилувчи $F_{\text{Л}} = evB \sin \alpha$. Лоренц кучи марказга интилма куч $F_{\text{м.и}} = \frac{mv^2}{R}$ дан иборат бўлганлиги учун, электроннинг ҳаракат траекторияси айланадан иборат бўлади.

$$\text{Бинобарин } evB \sin \alpha = \frac{mv^2}{R},$$

бунда e —электроннинг заряди; m —унинг массаси; v —эса ҳаракат тезлиги; R —ҳаракат траекториясининг эгрилик радиуси; B —магнит майдон индукцияси ва α —электрон ҳаракатнинг йўналиши билан магнит майдон куч чизиқлари орасидаги бурчак

Юқоридаги ифодадан электроннинг тезлиги v қуйидагига тенг булади:

$$v = \frac{eBR \sin \alpha}{m} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 10^{-3} \text{ Тл} \cdot 1,9 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot \sin 90^\circ}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}} = 2,64 \cdot 10^6 \text{ м/с}.$$

Жавоб: $v = 2,64 \cdot 10^6$ м/с.

3- масала. $U = 10^3$ В потенциаллар айирмаси билан тезлаштирилган электрон бир жинсли магнит майдонга индукция куч чизиқларига перпендикуляр равишда учиб кирган. Агар магнит майдон индукцияси $B = 2 \cdot 10^{-3}$ Тл бўлса, электроннинг ҳаракат траекториясининг эгрилик радиуси R ва унинг айланмиш даври T топилсин. Электроннинг массаси $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг, заряди $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Берилган: $U = 10^3$ В; $B = 2 \cdot 10^{-3}$ Тл; $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг;
 $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл; $\alpha = 90^\circ$.

Топиш керак: $R = ?$ $T = ?$

Ечилиши: Магнит майдонга кирган зарядли заррача (электрон)га таъсир этувчи Лоренц кучи $F_{\text{Л}} = evB \sin \alpha$ марказга интилма куч $F_{\text{м.и}} = \frac{mv^2}{R}$ дан иборат бўлганлиги учун, электрон магнит майдонда айлана бўйлаб ҳаракат қилади. Шунинг учун қуйидаги тенгликни ёзиш мумкин:

$$evB \sin \alpha = \frac{mv^2}{R},$$

бунда m —электроннинг массаси; e —унинг заряди; v —эса тезлиги; B —магнит майдон индукцияси; R —электроннинг ҳаракат траекториясининг эгрилик радиуси ва α —электроннинг ҳаракат йўналиши билан магнит майдон индукцияси куч чизиқлари орасидаги бурчак. Бу тенгламадан R ни топамиз:

$$R = \frac{mv}{eB \sin \alpha}.$$

Бу ифодадаги электроннинг тезлиги v ни энергиянинг сақланиш қонунидан осонгина аниқлаш мумкин. Электр майдонининг электронни кўчиришда бажарган иши электроннинг олган кинетик энергиясига тенгдир:

$$eu = \frac{mv^2}{2},$$

бундан

$$v = \sqrt{\frac{2eu}{m}}.$$

Тезлик v нинг бу ифодаси юқоридаги ўрнига қўйилса:

$$\begin{aligned} R &= \frac{m}{eB \sin \alpha} \sqrt{\frac{2eu}{m}} = \frac{1}{B \sin \alpha} \sqrt{\frac{2mu}{e}} = \\ &= \frac{1}{2 \cdot 10^{-3} \text{ Тл} \cdot \sin 90^\circ} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot 10^3 \text{ В}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}}} = 5,33 \text{ см}. \end{aligned}$$

Электроннинг айланиш даври $T = \frac{2\pi R}{v}$ ҳаракат траекториясининг эгрилик радиуси $R = \frac{mv}{eB \sin \alpha}$ учун қуйидаги ифода келиб чиқади:

$$T = \frac{2\pi m}{eB \sin \alpha}.$$

Бундан кўринадики, зарядли заррачанинг магнит майдондаги айланиш даври T унинг тезлиги v га боғлиқ бўлмай, фақат заррачанинг солиштирма заряди $\frac{e}{m}$ га ва магнит майдоннинг индукцияси B га боғлиқдир.

Масала шартда берилган катталикларнинг сон қийматларини ўрнига қўйиб ҳисобласак:

$$T = \frac{2\pi m}{eB \sin \alpha} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \text{ Тл} \cdot \sin 90^\circ} = 1,79 \cdot 10^{-8} \text{ с}^{-1}.$$

Жавоб: $R = 5,33 \text{ см}$, $T = 1,79 \cdot 10^{-8} \text{ с}$.

4-масала. $U = 800 \text{ В}$ потенциаллар айирмаси билан тезлаштирилган, масса сонлари мос равишда $A_1 = 10$ ва $A_2 = 14$ булган бир қарра ионлаштирилган иккита углерод изотопининг ионлари $B = 0,32 \text{ Тл}$ индукцияли бир жинсли магнит май-

донга куч чизиқларига перпендикуляр равишда учиб киради. Агар ионлар вакуумда ҳаракатланаётган бўлса, уларнинг траекторияларининг радиуслари R_1 ва R_2 топилсин. Ҳар бир ионнинг заряди $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, 1 м. а. б $= 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг.

Берилган: $m_1 = A_1 \cdot 1 \text{ м. а. б} = 10 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг;

$m_2 = A_2 \cdot 1 \text{ м. а. б} = 14 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг; $u = 800$ В;

$B = 0,32$ Тл; $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл; $\alpha = 90^\circ$.

Топиш керак: $R_1 = ?$ $R_2 = ?$

Ечилиши: Магнит майдонда ҳаракатланаётган углерод изотопи ионларига таъсир қилувчи Лоренц кучи марказга интилма кучдан иборат бўлганлиги сабабли, ионлар траекторияларининг радиуси R ни ушбу муносабатдан топиш мумкин:

$$qvB = \frac{mv^2}{R}, \text{ бундан } R = \frac{mv}{qB},$$

бунда q —ионнинг заряди; m —унинг массаси; v —ионнинг тезлиги бўлиб, уни энергиянинг сақланиш қонунидан осонгина аниқлаш мумкин, яъни электр майдоннинг ионни кўчиришдаги бажарган $A = qu$ иши ионнинг олган кинетик энергияси $W_k = mv^2/2$ га тенг бўлади:

$$qu = mv^2/2, \text{ бундан } v = \sqrt{2qu/m}.$$

Бу ифодани юқоридаги ўрнига қўйилса, ишчи формула келиб чиқади:

$$R = \frac{m}{qB} v = \frac{m}{qB} \sqrt{\frac{2qu}{m}} = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2um}{q}}.$$

Энди масала шартда берилган катталикларнинг қийматларини ўрнига қўйиб, изотоп ионларининг ҳаракат траекториялари радиусларини ҳисоблаб топамиз: $R_1 = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2um_1}{q}} =$

$$= \frac{1}{0,32 \text{ Тл}} \sqrt{\frac{2 \cdot 8 \cdot 10^2 \text{ В} \cdot 10 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}}} = 4,04 \text{ см.}$$

$$R_2 = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2um_2}{q}} = \frac{1}{0,32 \text{ Тл}} \sqrt{\frac{2 \cdot 8 \cdot 10^2 \text{ В} \cdot 14 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}}} = 4,78 \text{ см.}$$

Жавоб: $R_1 = 4,04$ см. $R_2 = 4,78$ см.

Мустақил ечиш учун масалалар

48.1. Индукцияси $B = 0,3$ Тл бўлган бир жинсли магнит майдонда $R = 20$ см радиусли айлана ёйи бўйлаб ҳаракатланаётган протоннинг тезлиги v ни топинг. Протоннинг массаси $m = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг, заряди $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Жавоб: $v = \frac{qBR}{m} = 5,75 \cdot 10^6$ м/с.

48.2. Индукцияси $B = 0,3$ Тл бўлган бир жинсли магнит майдонда $R = 40$ см радиусли айлана ёки бўйлаб ҳаракатланаётган α -заррача (гелий атоми ядроси)нинг кинетик энергияси ни топинг. α -заррачанинг массаси $m = 6,64 \cdot 10^{-27}$ кг, заряди эса $q = 3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл.

$$\text{Жавоб: } W_k = \frac{q^2 B^2 R^2}{2m} = 1,11 \cdot 10^{-13} \text{ Ж}$$

48.3. Индукцияси $B = 0,2$ Тл бўлган бир жинсли магнит майдонда $R = 15$ см радиусли айлана бўйлаб ҳаракатланаётган электронга таъсир қилаётган Лоренц кучи F_L ни топинг. Электроннинг массаси $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг, заряди эса $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

$$\text{Жавоб: } F_L = \frac{q^2 B^2 R^2}{m} = 1,69 \cdot 10^{-10} \text{ Н.}$$

48.4 Кинетик энергияси $W_k = 20$ кэВ бўлган электрон бир жинсли магнит майдонда $R = 20$ см радиусли айлана бўйлаб ҳаракатланаётган бўлса, майдоннинг магнит индукцияси B ни аниқланг. Электроннинг массаси $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг, заряди $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

$$\text{Жавоб: } R = \frac{\sqrt{2mW_k}}{qB} = 2,38 \cdot 10^{-3} \text{ Тл.}$$

48.5. Магнит индукцияси $B = 1$ Тл бўлган циклотронда протонлар $W_k = 20$ МэВ кинетик энергияга эга бўлиши учун улар қандай R радиусли айлана бўйлаб ҳаракатланиши керак? Протоннинг массаси $m = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг заряди $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

$$\text{Жавоб: } R = \frac{\sqrt{2mW_k}}{qB} = 64,4 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 61,4 \text{ см.}$$

48.6. Электрон тинч ҳолатдан $U = 220$ В потенциаллар айирмаси билан тезлаштирилгандан кейин индукцияси $B = 5 \times 10^{-3}$ Тл бўлган бир жинсли магнит майдонга учиб кирди ва радиуси $R = 1 \cdot 10^{-2}$ м бўлган доиравий траектория бўйлаб ҳаракатланди. Агар электроннинг заряди $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл бўлса, унинг массасини топинг.

$$\text{Жавоб: } m = \frac{qB^2 R^2}{2U} = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг.}$$

48.7. Бир қарра ионланган заррача масса-спектрометрда индукцияси $B = 0,1$ Тл бўлган бир жинсли магнит майдонда $R = 10$ см радиусли айлана бўйлаб $v = 956$ км/с тезлик билан ҳаракатланмоқда. Агар ионнинг заряди $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл бўлса, заррачанинг массаси m ни топинг, у қандай заррача?

$$\text{Жавоб: } m = \frac{qBR}{v} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг (протон).}$$

48.8. Масса сони $A=28$ бўлган бир карра ионланган кремний ионлари $B=0,18$ Тл индукцияли бир жинсли магнит майдонга куч чизиқларига перпендикуляр равишда учиб киради ва $R=21$ см радиусли ёй бўйлаб ҳаракатланади. Агар ионнинг заряди $q=1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл ва $m_0=1$ м. а. б $=1,67 \cdot 10^{-27}$ кг бўлса, ионнинг кинетик энергияси W_k ни топинг.

$$\text{Жавоб: } W_k = \frac{q^2 B^2 R^2}{2mA} = 4 \cdot 10^{-16} \text{ Ж.}$$

48.9. Массалари сони $A_1=20$ ва $A_2=22$, кинетик энергияси $W_k=6,2 \cdot 10^{-16}$ Ж бўлган бир карра ионланган неон ионлари $B=0,24$ Тл индукцияли бир жинсли магнит майдонга куч чизиқларига перпендикуляр равишда учиб киради ва ярим айлана чизиб, майдондан икки дастага ажралган ҳолда учиб чиқади. Агар ионларнинг заряди $q=1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл ва $m_0=1$ м. а. б $=1,67 \cdot 10^{-27}$ кг бўлса, дасталар орасидаги Δl масофани аниқланг.

$$\text{Жавоб: } \Delta l = R_2 - R_1 = \frac{\sqrt{2m_0 W_k}}{qB} (\sqrt{A_2} - \sqrt{A_1}) = 8,24 \text{ см.}$$

48.10. Масс-спектрометрда бир карра ионланган аргон изотопи ионлари $U=800$ В кучланишли электр майдонда тезлаштирилгандан кейин $B=0,32$ Тл индукцияли бир жинсли магнит майдонга куч чизиқларига перпендикуляр равишда учиб кириб, вакуумда $R_1=7,63$ см ва $R_2=8,05$ см радиусли ёйлар бўйлаб ҳаракатланувчи икки дастага ажралган. Агар ионларнинг заряди $q=1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл ва $m_0=1$ м. а. б $=1,67 \cdot 10^{-27}$ кг бўлса, аргон изотопларининг массалари A_1 ва A_2 сонини аниқланг.

$$\text{Жавоб: } A_1 = \frac{qB^2 r_1^2}{2m_0 U} = 36; \quad A_2 = \frac{qB^2 R_2^2}{2m_0 U} = 40$$

49-§. ЎЗГАРМАС ТОКНИНГ МАГНИТ МАЙДОНИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. $I=14$ А ток ўтаётган чексиз узун тўғри ўтказгичдан ҳавода $r_0=10$ см масофада жойлашган нуқтадаги майдоннинг индукцияси B ва кучланганлиги H топилин.

Берилган: $I=14$ А; $r_0=0,10$ м; $\mu=2$; $\mu_0=4 \cdot 10^{-7}$ Тл. м/А.

Топиш керак: $B=?$ $H=?$

Ечилиши: Чексиз узун тўғри ток ҳосил қилган магнит майдоннинг индукцияси ва кучланганлиги қуйидаги формулалардан аниқланади:

$$B = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{2I}{r_0}; \quad H = \frac{1}{4\pi} \frac{2I}{r_0}$$

бунда I —ўтказгичдан ўтаётган токнинг кучи, r_0 —ўтказгичдан нуқтагача бўлган масофа.

Масала шартда берилган катталикларнинг сон қийматларини ўрнига қўйсак:

$$B = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{2I}{r_0} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Тл} \cdot \text{м}}{\text{А}} \cdot 1}{4\pi} \cdot \frac{2 \cdot 14 \text{ А}}{0,1 \text{ м}} = 2,8 \cdot 10^{-5} \text{ Тл.}$$

$$H = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{2I}{r_0} = \frac{1}{4 \cdot 3,14} \cdot \frac{2 \cdot 14 \text{ А}}{0,1 \text{ м}} = 22,3 \frac{\text{А}}{\text{м}}.$$

Жавоб: $B = 2,8 \cdot 10^{-5} \text{ Тл}$, $H = 22,3 \text{ А/м}$.

2-масала. Агар $R = 6,28 \text{ см}$ радиусли айланма токнинг марказида ҳосил бўлган магнит майдоннинг индукцияси $B = 1,4 \times 10^{-4} \text{ Тл}$ бўлса, ўтказгичдан ўтаётган токнинг кучи I топилин.

Берилган: $R = 6,28 \cdot 10^{-2} \text{ м}$; $B = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ Тл}$; $\mu = 1$;

$$\mu_0 = 12,56 \cdot 10^{-7} \text{ Тл} \cdot \text{м/А}.$$

Топиш керак: $I = ?$

Ечилиши. I ток ўтаётган R радиусли айланма ўтказгич марказида ҳосил бўлган магнит майдоннинг индукцияси B қуйидаги формуладан топилади:

$$B = \mu_0 \mu \frac{I}{2R}.$$

Бундан изланаётган ток кучи:

$$I = \frac{2BR}{\mu_0 \mu} = \frac{2 \cdot 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ Тл} \cdot 6,28 \cdot 10^{-2} \text{ м}}{12,56 \cdot 10^{-7} \text{ Тл} \cdot \text{м/А} \cdot 1} = 14 \text{ А}.$$

Жавоб: $I = 14 \text{ А}$.

3-масала. Ўрамлари сони $N = 2000$, ўқининг радиуси $R = 15 \text{ см}$ бўлган тороиддан $I = 3 \text{ А}$ ток ўтаётган бўлса, тороид ўқида ётган нуқталардаги магнит майдоннинг индукцияси B топилин.

Берилган: $N = 2000$; $R = 0,15 \text{ м}$; $I = 3 \text{ А}$; $\mu = 1$;

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Тл} \cdot \text{м/А}.$$

Топиш керак: $B = ?$

Ечилиши: Токли тороид ҳосил қилган магнит майдоннинг индукцияси қуйидаги формуладан аниқланади:

$$B = \mu_0 \mu I \frac{N}{2\pi R},$$

бунда I —токнинг кучи; N —ўрамлар сони; R —тороид ўқининг радиуси; μ —муҳитнинг нисбий сингдирувчанлиги, μ_0 —магнит доимийси.

Масалада берилган катталикларнинг сон қийматларини ўрнига қўйсак:

$$B = \mu_0 \mu \frac{IN}{2\pi R} = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Тл} \cdot \text{м}}{\text{А}} \cdot 1 \cdot \frac{3 \text{ А} \cdot 2 \cdot 10^3}{2 \cdot \pi \cdot 0,15 \text{ м}} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}.$$

Жавоб: $B = 8 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$.

Мустақил ечиш учун масалалар

49.1. $I = 10$ А ток ўтаётган чексиз узун ўтказгичдан $r_0 = 5$ см узоқликда бўлган нуқтадаги магнит майдоннинг индукцияси B ва кучланганлиги H ни топинг.

$$\text{Жавоб: } B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r_0} = 4 \cdot 10^{-5} \text{ Тл; } H = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{2I}{r_0} = 31,8 \text{ А/м.}$$

49.2. Ҳавода жойлашган чексиз узун ўтказгичдан $r_0 = 10$ см узоқликдаги нуқтада магнит майдоннинг индукцияси $B = 4 \times 10^{-6}$ Тл бўлса, ўтказгичдан ўтаётган токнинг кучи I ни топинг.

$$\text{Жавоб: } I = \frac{4\pi}{\mu_0} \frac{B r_0}{2} = 2 \text{ А.}$$

49.3. Чексиз узун ўтказгичдан ўтаётган токнинг кучи $I = 4$ А бўлса, ўтказгичдан қандай r_0 узоқликдаги нуқтада магнит майдоннинг индукцияси $B = 1,6 \cdot 10^{-5}$ Тл бўлади?

$$\text{Жавоб: } r_0 = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \cdot \frac{2I}{B} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 5 \text{ см.}$$

49.4. $I = 5$ А ток ўтаётган, $R = 2$ см радиусли айланма ўтказгич марказидаги магнит майдоннинг индукцияси B ва кучланганлиги H ни топинг.

$$\text{Жавоб: } B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \cdot \frac{2\pi I}{R} = 15,70 \cdot 10^{-5} \text{ Тл; } H = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{2\pi I}{R} = 125 \text{ А/м.}$$

49.5. $R = 6$ см радиусли айланма токнинг марказида магнит майдоннинг индукцияси $B = 2,5 \cdot 10^{-4}$ Тл бўлса, айланма ток марказидаги магнит майдон кучланганлиги H ва ўтказгичдан ўтаётган токнинг кучи I ни топинг.

$$\text{Жавоб: } H = \frac{B}{\mu_0} = 200 \text{ А/м; } I = \frac{2BR}{\mu_0} = 24 \text{ А.}$$

49.6. Айланма ток марказида магнит майдоннинг кучланганлиги $H = 240$ А/м ни ташкил қилади. Агар ўтказгичдан ўтаётган токнинг кучи $I = 12$ А бўлса, айланма ўтказгичнинг радиуси R ва айланма ток марказидаги магнит майдоннинг индукцияси B ни топинг.

$$\text{Жавоб: } R = \frac{I}{2H} = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 2,5 \text{ см; } B = \mu_0 H = 3 \cdot 10^{-4} \text{ Тл.}$$

49.7. Чексиз соленоиднинг ўрамлари сони $N = 620$, узунлиги $l = 78$ см ва ундан ўтаётган токнинг кучи $I = 5$ А бўлса, соленоид ичидаги магнит майдоннинг индукцияси B ва кучланганлиги H ни топинг.

$$\text{Жавоб: } B = \mu_0 \frac{N}{l} I = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Тл; } H = I \frac{N}{l} = 4 \text{ кА/м.}$$

49.8. Агар $\Lambda = 600$ ўрамли соленоиддан $I = 4$ А ток ўтаётганда унинг ичида $B = 1 \cdot 10^{-2}$ Тл индукцияли магнит майдон ҳосил бўлса, соленоиднинг узунлиги l қандай бўлади?

Жавоб: $l = \mu_0 \mu I \frac{N}{B} = 15 \cdot 10^{-2}$ м.

49.9. Ўзаксиз соленоиддан $I = 4,8$ А ток ўтаётганда унинг ичида $B = 1,2 \cdot 10^{-2}$ Тл индукцияли магнит майдон ҳосил бўлади. Соленоиднинг узунлик бирлигига мос келган ўрамлар сони n ни топинг.

Жавоб: $n = \frac{B}{\mu_0 \mu I} = 2 \cdot 10^3$ ўрам/м.

49.10. Ампер ўрамлар сони $IN = 2000$ А.ўр, радиуси $R = 10$ см бўлган ўзаксиз тороид ҳосил қилган магнит майдоннинг индукцияси B ни топинг.

Жавоб: $B = \mu_0 \mu \frac{IN}{2\pi R} = 4 \cdot 10^{-3}$ Тл.

49.11. Ўқининг радиуси $R = 15$ см ва ўрамлари сони $N = 1500$ бўлган ўзаксиз тороид ўқида $B = 4 \cdot 10^{-3}$ Тл индукцияли магнит майдон ҳосил бўлса, тороиддан ўтаётган токнинг кучи I ни топинг.

Жавоб: $I = \frac{2\pi BR}{\mu_0 \mu N} = 2$ А.

49.12. Ўрта чизигининг радиуси $R = 25$ см ва ўрамлари сони $N = 2000$ бўлган ўзаксиз тороиддан $I = 5$ А ток ўтмоқда. Тороид ўқидаги магнит майдоннинг индукцияси B ва кучланганлиги H ни топинг.

Жавоб: $B = \mu_0 \mu I \frac{N}{2\pi R} = 8 \cdot 10^{-3}$ Тл; $H = I \frac{N}{2\pi R} = 6,4$ кА/м.

50-§. МАГНИТ ИНДУКЦИЯ ОҚИМИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Ўзаксиз соленоид ичидаги магнит майдоннинг кучланганлиги $H = 2,5 \cdot 10^4$ А/м. Соленоид ичига жойлаштирилган никель ўзак ($\mu = 200$) даги магнит майдоннинг индукцияси B ва кўндаланг кесим юзи ($S = 20$ см²) орқали ўтувчи магнит индукция оқими Φ топилсин.

Берилган: $H = 2,5 \cdot 10^4$ А/м; $\mu = 200$; $S = 2 \cdot 10^{-2}$ м²;
 $\mu_0 = 12,56 \cdot 10^{-7}$ Гн/м.

Топиш керак: $B = ?$ $\Phi = ?$

Ечилиши: Магнит майдоннинг индукцияси B ни қуйидаги муносабатдан топамиз:

$$B = \mu_0 \mu H = 12,56 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м} \cdot 200 \cdot 2,5 \cdot 10^3 \text{ А/м} = \\ = 62,8 \cdot 10^{-2} \text{ Вб/м}^2 = 62,8 \cdot 10^{-2} \text{ Тл.}$$

Соленоид ўзгаи орқали ўтувчи магнит индукция оқими қуйидагига тенгдир:

$$\Phi = BS = 62,8 \cdot 10^{-2} \text{ Тл} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 = 125,6 \cdot 10^{-5} \text{ Вб} = \\ = 12,56 \cdot 10^{-4} \text{ Вб.}$$

Жавоб. $B = 62,8 \cdot 10^{-2} \text{ Тл}, \quad \Phi = 12,56 \cdot 10^{-4} \text{ Вб.}$

2- масала. Магнит индукцияси $B=0,5$ Тл бўлган бир жинсли магнит майдонда куч чизиқларига $\alpha=60^\circ$ бурчак остида жойлашган $S=25 \text{ см}^2$ сирт орқали ўтувчи магнит индукция оқими Φ топилсин.

Берилган: $B=0,5$ Тл; $S=25 \text{ см}^2 = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$; $\alpha=60^\circ$.

Топиш керак: $\Phi = ?$

Ечилиши: Бирор S сирт орқали ўтувчи магнит индукция оқими Φ ушбу формуладан аниқланади:

$$\Phi = BS \cos \alpha,$$

бунда α — магнит индукция вектори \vec{B} ва сирт S га ўтказилган \vec{n} нормал орасидаги бурчак.

Масалада берилган катталикларнинг сон қийматларини ўрнига қўйиб ҳисоблаймиз:

$$\Phi = BS \cos \alpha = 0,5 \text{ Тл} \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \cos 60^\circ = 6,25 \cdot 10^{-4} \text{ Вб.}$$

Жавоб: $\Phi = 6,25 \cdot 10^{-4} \text{ Вб.}$

3- масала. Ўзаксиз ғалтакнинг ичидаги магнит майдоннинг индукцияси $B_0 = 2 \cdot 10^{-4}$ Тл. Агар ғалтакнинг ичига никель ўзак ($\mu = 800$) киритилса, ўзакдаги магнит майдоннинг индукцияси B ва ўзакнинг кўндаланг кесими ($S = 10 \text{ см}^2$) орқали ўтувчи магнит индукция оқими Φ нимага тенг бўлади?

Берилган: $B_0 = 2 \cdot 10^{-4}$ Тл; $\mu = 800$; $S = 10 \text{ см}^2 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$.

Топиш керак: $B = ?$ $\Phi = ?$

Ечилиши: Муҳитдаги ва бўшлиқдаги магнит индукцияси ўзаро қуйидагича боғланган:

$$B = \mu B_0 = 800 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \text{ Тл} = 16 \cdot 10^{-2} \text{ Тл.}$$

Ғалтакдаги ўзакнинг кўндаланг кесим юзи орқали ўтувчи магнит индукция оқими ушбу формуладан аниқланади:

$$\Phi = B \cdot S = 16 \cdot 10^{-2} \text{ Тл} \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 = 16 \cdot 10^{-5} \text{ Вб} = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ Вб.}$$

Жавоб: $B = 16 \cdot 10^{-2} \text{ Тл}; \quad \Phi = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ Вб.}$

Мустақил ечиш учун масалалар

50.1. Томонлари $a = 25$ см ва $b = 40$ см дан бўлган тўғри тўртбурчак шаклидаги сим ўрами $B = 1,5$ Тл индукцияли бир жинсли магнит майдонга жойлаштирилган. Индукция вектори \vec{B} билан ўрам сиртига ўтказилган нормал \vec{n} орасидаги бурчак $\alpha_1 = 0^\circ$, $\alpha_2 = 60^\circ$ ва $\alpha_3 = 90^\circ$ бўлган ҳоллар учун ўрамни кесиб ўтувчи магнит индукция оқими Φ ни топинг.

Жавоб: $\Phi_1 = Bab \cos \alpha_1 = 0,15$ Вб; $\Phi_2 = Bab \cos \alpha_2 = 0,075$ Вб;
 $\Phi_3 = B \cdot b \cos \alpha_3 = 0$.

50.2. Кучланганлиги $H = 500$ А/м бўлган, ҳаводаги бир жинсли магнит майдонда куч чизиқларига перпендикуляр жойлашган $S = 300$ см² сирт орқали кесиб ўтган магнит майдон индукция оқими Φ ни топинг.

Жавоб: $\Phi = \mu_0 \mu H S = 18,84 \cdot 10^{-6}$ Вб.

50.3. Кесими юзи $S = 0,5$ м² бўлган ясси сиртни кесиб ўтаётган магнит индукция оқими $\Phi = 1,25 \cdot 10^{-2}$ Вб. Магнит майдоннинг индукцияси B ни топинг.

Жавоб: $B = \frac{\Phi}{S} = 2,5 \cdot 10^{-2}$ Тл.

50.4. Соленоиднинг темир ўзаги ($\mu = 8000$) да ҳосил қилинган бир жинсли магнит майдоннинг кучланганлиги $H = 10^3$ А/м ва ўзакнинг кўндаланг кесими орқали ўтган магнит индукция оқими $\Phi = 3,2 \cdot 10^{-2}$ Вб. Ўзакнинг кўндаланг кесими S ни топинг.

Жавоб: $S = \frac{\Phi}{\mu_0 \mu H} = 3,2 \cdot 10^{-4}$ м² = 3,2 см².

50.5. Агар бир жинсли магнит майдондаги темир ($\mu = 5000$) бўлагининг кесими юзаси ($S = 0,2$ м²) дан ўтаётган магнит индукция оқими $\Phi = 2,5$ Вб бўлса, магнит майдоннинг кучланганлиги H нимага тенг бўлади?

Жавоб: $H = \frac{\Phi}{\mu_0 \mu S} = 2000$ А/м².

50.6. Кучланганлиги $H = 8 \cdot 10^3$ А/м бўлган бир жинсли магнит майдонга жойлашган темир ($\mu = 5000$) бўлагининг кесими юзаси ($S = 40$ см²) дан ўтаётган магнит индукция оқими Φ ни топинг.

Жавоб: $\Phi = \mu_0 \mu H S = 0,2$ Вб.

50.7. Индукцияси $B = 1,2 \cdot 10^{-3}$ Тл бўлган бир жинсли магнит майдонга томонлари $a = 4$ см дан бўлган квадрат рамка жойлаштирилган. Рамка юзасига ўтказилган нормал \vec{n} билан

магнит индукция вектори \vec{B} орасидаги бурчак $\alpha=45^\circ$ ни ташкил қилади. Рамканинг кесим юзи орқали ўтаётган магнит индукция оқими Φ ни топинг. Магнит доимийси $\mu=4 \cdot 10^{-7}$ Гн/м

Жавоб: $\Phi = Ba^2 \cos \alpha = 1,36 \cdot 10^{-6}$ Вб.

50.8. Узунлиги $l = 1$ м бўлган тороиднинг кўндаланг кесими юзи $S=2,5$ см² бўлган темир ўзаги орқали ўтаётган магнит индукция оқими $\Phi = 1,5 \cdot 10^{-3}$ Вб. Агар темирнинг нисбий магнит сингдирувчанлиги $\mu = 800$ бўлса, тороиднинг ампер-ўрамлар сони IN ни топинг. Магнит доимийси $\mu_0 = 4 \cdot 10^{-7}$ Гн/м.

Жавоб: $IN = \frac{\Phi l}{\mu_0 \mu S} = 6 \cdot 10^3$ ампер ўрам.

50.9. Кучланганлиги $H = 2,4 \cdot 10^4$ А/м бўлган бир жинсли магнит майдонда магнит куч чизиқлари билан $\beta = 30^\circ$ бурчак ташкил қилиб жойлашган $S = 3$ м² юзли ясси сиртни кесиб ўтувчи магнит индукция оқими Φ ни топинг.

Жавоб: $\Phi = \mu_0 H S \cos(90^\circ - \beta) = \mu_0 H S \sin \beta = 4,52 \cdot 10^{-2}$ Вб.

50.10. Юзаси $S=1,2$ м² бўлган рамка $B=0,3$ Тл индукцияли бир жинсли магнит майдонда куч чизиқларига перпендикуляр ($\alpha_1 = 0$) равишда жойлашган. Рамка 180° га бурилганда ($\alpha_2 = 180^\circ$) уни кесиб ўтувчи магнит индукция оқимининг ўзгариши $\Delta\Phi$ ни топинг.

Жавоб: $\Delta\Phi = \Phi_1 - \Phi_2 = BS \cos \alpha_1 - BS \cos \alpha_2 = 0,72$ Вб.

51-§. ЭЛЕКТРОМАГНИТ ИНДУКЦИЯ ҚОНУНИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Қанотларининг қулочи $l=50$ м бўлган реактив самолёт горизонтал ҳолатда $v=900$ км/соат тезлик билан учаётганда самолёт қанатларининг учларида ҳосил бўладиган потенциаллар айирмаси u топилсин. Ёрнинг магнит майдони индукциясининг вертикал ташкил этувчиси $B = 5 \cdot 10^{-5}$ Тл.

Берилган: $l=50$ м, $v=900$ км/соат=250 м/с; $B=5 \cdot 10^{-5}$ Тл.

Топиш керак: $u = ?$

Ечилиши: Фарадейнинг электромагнит индукция ҳодисасига биноан, индукцион ЭЮК магнит индукция оқими ўзгариши тезлигининг тескари ишорали ифодасига тенг:

$$\mathcal{E}_l = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t},$$

бунда $\Delta\Phi$ —магнит индукция оқимининг ўзгариши бўлиб, у самолёт қанотининг Δt вақт ичида кесиб ўтган индукция куч чизиқларига тенг:

$$\Delta\Phi = B \Delta S = Blv \Delta t.$$

Самолёт қанотлари учларида ҳосил бўлган потенциаллар айирмаси u унинг қанотларида ҳосил бўладиган индукция ЭЮК га тенг, яъни:

$$u = |\mathcal{E}_i| = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{Blv\Delta t}{\Delta t} = Blv =$$

$$= 5 \cdot 10^{-5} \text{ Тл} \cdot 50 \text{ м} \cdot 250 \text{ м/с} = 0,625 \text{ В.}$$

Жавоб: $u = 0,625 \text{ В.}$

2-масала. Ҷрамлари сони $N = 100$ ва кўндаланг кесими юзи $S = 50 \text{ см}^2$ бўлган соленоид вакуумдаги бир жинсли магнит майдонда чулғамининг текислиги куч чизиқларига перпендикуляр равишда бўлиб жойлашган. Соленоид $t = 0,1 \text{ с}$ вақт оралиғида 180° бурчакка бурилганда соленоидда ҳосил бўладиган индукцион ЭЮК \mathcal{E}_i топилсин. Майдон кучланганлиги $H = 5 \cdot 10^4 \text{ А/м}$.

Берилган: $N = 100$, $S = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$, $H = 5 \cdot 10^4 \text{ А/м}$, $\Delta t = 0,1 \text{ с}$,
 $\mu = 1$, $\mu_0 = 12,56 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$.

Топиш керак: $\mathcal{E}_i = ?$

Ечилиши: Индукцион ЭЮК қуйидаги формуладан аниқланади:

$$\mathcal{E} = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = - N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t},$$

бунда $\Delta\Phi$ — соленоид ўрамларига туташган магнит индукция оқимининг ўзгариши, Φ — соленоиднинг битта ўрами орқали ўтувчи магнит индукция оқимининг ўзгариши.

Соленоиднинг битта ўрами орқали ўтувчи магнит индукция оқими $\Phi = BS = \mu_0 \mu HS$ бўлиб, соленоид 180° га бурилганда оқим дастлаб нолгача камаяди, сўнггра яна аввалги қийматига эришади. Бинобарин, магнит индукция оқимининг ўзгариши қуйидагига тенг бўлади:

$$\Delta\Phi = 2\mu_0 \mu HS.$$

Буни юқоридаги ўрнига қўйиб, \mathcal{E}_i ни топамиз:

$$|\mathcal{E}_i| = \left| - N \frac{\mu_0 \mu HS}{\Delta t} \right| =$$

$$= 100 \frac{2 \cdot 12,56 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м} \cdot 1 \cdot 5 \cdot 10^4 \text{ А/м} \cdot 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2}{0,1 \text{ с}} = 0,628 \text{ В.}$$

Жавоб: $\mathcal{E}_i = 0,628 \text{ В.}$

3-масала. Индукцияси $B = 0,5 \text{ Тл}$ бўлган магнит майдонда $l = 50 \text{ см}$ узунликдаги стержень $\nu = 4$ ай/с частота билан текис айланмоқда. Айланиш ўқи стерженнинг бир учидан ўтиб, магнит майдоннинг куч чизиқларига параллел йўналган бўлса, стерженнинг учларида ҳосил бўлган индукцион ЭЮК \mathcal{E} нинг қиймати топилсин.

Берилган. $B = 0,5 \text{ Тл}$, $l = 0,5 \text{ м}$, $\nu = 4 \text{ ай/с}$.

Топиш керак: $\mathcal{E}_i = ?$

Ечилиши. Фарадейнинг электромагнит индукция қонунига биноан индукцион ЭЮК:

$$\mathcal{E}_i = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

Стерженнинг ҳар бир айланишида кесиб ўтган магнит индукция оқими қуйидагига тенг:

$$\Phi = BS = B\pi l^2.$$

Агар стержень Δt вақт оралиғида N марта айланса, магнит индукция оқимининг ўзгариши

$$\Delta\Phi = \Phi \setminus N = B\pi l^2 N$$

бўлиб, уни юқоридаги ўрнига қўйилса, ишчи формула келиб чиқади:

$$\mathcal{E}_i = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = - \pi B l^2 \frac{\Delta N}{\Delta t} = - \pi B l^2 \nu,$$

бунда $\nu = \frac{\Delta N}{\Delta t}$ — стерженнинг айланиш частотаси.

Масалада берилган катталикларнинг сон қийматларини ўрнига қўйиб ҳисобласак:

$$|\mathcal{E}_i| = \pi B l^2 \nu = 3,14 \cdot 0,5 \text{ Тл} \cdot 0,25 \text{ м}^2 \cdot 4 \text{ 1/с} = 1,57 \text{ В}.$$

Жавоб: $\mathcal{E}_i = 1,57 \text{ В}$.

4-масала. $B = 10^{-2}$ Тл индукцияли бир жинсли магнит майдонга жойлаштирилган, ўрамлари сони $N = 2000$ ва юзаси $S = 50 \text{ см}^2$ бўлган рамка $R = 10$ кОм қаршиликли гальванометр-га уланган. Рамка текислигига ўтказилган нормал \vec{n} билан индукция вектори \vec{B} орасидаги бурчак $\alpha_1 = 30^\circ$ дан $\alpha_2 = 60^\circ$ гача ўзгарганда гальванометр занжиридан ўталиган заряд Δq топилсин. Рамканинг қаршилиги ҳисобга олинмасин.

Берилган: $B = 10^{-2}$ Тл, $N = 2 \cdot 10^3$, $S = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$;
 $R = 10^4$ Ом, $\alpha_1 = 30^\circ$, $\alpha_2 = 60^\circ$.

Топиш керак: $\Delta q = ?$

Ечилиши: Гальванометр занжирида Δt вақт оралиғида индукцияланувчи заряднинг миқдори Δq рамка ўрамларидан ўтувчи магнит индукция оқимининг ўзгариши $\Delta\psi = N\Delta\Phi$ билан аниқланади, яъни:

$$\Delta q = I \Delta t = \frac{\mathcal{E}_i}{R} \Delta t = \frac{-\Delta\psi/\Delta t}{R} \cdot \Delta t = - \frac{\Delta\psi}{R} = - N \frac{\Delta\Phi}{R},$$

бунда R — гальванометр занжирининг қаршилиги, $\Delta\Phi$ — рамканинг битта ўрами орқали ўтувчи магнит индукция оқимининг ўзгариши бўлиб, у:

$$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = BS \cos \alpha_2 - BS \cos \alpha_1 = BS(\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1).$$

Буни юқоридаги ўрнига қўйилса:

$$\Delta q = -N \frac{BS(\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1)}{R} = N \frac{BS}{R} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) = \\ = 2 \cdot 10^3 \frac{3 \cdot 10^{-2} \text{ Тл} \cdot S \cdot 10^{-3} \text{ м}^2}{10^4 \text{ Ом}} = 3,66 \cdot 10^{-6} \text{ Кл.}$$

Жавоб: $\Delta q = 3,66 \cdot 10^{-6} \text{ Кл.}$

Мустақил ечиш учун масалалар

51.1 $N = 800$ та ўрамли соленоиднинг кўндаланг кесими орқали ўтаётган магнит индукция оқими $\Delta t = 2 \cdot 10^{-3}$ с давомида $\Phi_1 = 8 \cdot 10^{-3}$ Вб дан $\Phi_2 = 3 \cdot 10^{-3}$ Вб гача текис ўзгарганда, соленоидда индукцияланадиган ЭЮК \mathcal{E} ни топинг.

Жавоб: $\mathcal{E}_2 = N \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{\Delta t} = 2 \cdot 10^3 \text{ В} = 2 \text{ кВ.}$

51.2 Агар $N = 1500$ та ўрамли соленоидда $\mathcal{E}_1 = 300$ В индукцион ЭЮК ҳосил бўлса, соленоид орқали ўтувчи магнит индукция оқимининг ўзгариш тезлиги $\Delta\Phi/\Delta t$ ни топинг.

Жавоб: $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\mathcal{E}_1}{N} = 0,2 \text{ Вб/с.}$

51.3. Урамлари сони $N = 1500$ ва кўндаланг кесими юзаси $S = 40 \text{ см}^2$ бўлган ўзакли ғалтакнинг магнит майдонининг индукцияси $B = 0,8 \text{ Тл}$. Агар ғалтакни ток манбаидан узиш вақти $\Delta t = 0,001$ с бўлса, ғалтак чўлғамларида ҳосил бўладиган индукцион ЭЮК \mathcal{E} ни топинг.

Жавоб: $\mathcal{E} = N \frac{BS}{\Delta t} = 4,8 \cdot 10^3 \text{ В.}$

51.4. Ғалтакнинг магнит майдони $\Delta t = 0,1$ с вақт оралиғида бир текис камайиб йўқолганда $\mathcal{E}_1 = 20$ В ЭЮК индукцияланган. Агар ғалтакнинг ўрамлари сони $N = 400$ бўлса, ҳар бир ўрамни кесиб ўтган бошланғич магнит индукция оқими Φ ни топинг.

Жавоб: $\Phi = \frac{\mathcal{E}_1 \Delta t}{N} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Вб.}$

51.5. Ўтказгич контурини кесиб ўтувчи магнит индукция оқими бир текис $\Delta\Phi = 0,2$ Вб га ўзгарганда $\mathcal{E}_1 = 5$ В ЭЮК индукцияланган бўлса, магнит индукция оқимининг ўзгариш вақти Δt ни топинг.

Жавоб: $\Delta t = \frac{\Delta\Phi}{\mathcal{E}_1} = 0,04 \text{ с.}$

51.6. Индукция оқимининг ўзгариш тезлиги $\Delta\Phi/\Delta t = 24,5$ Вб/с бўлган магнит майдон куч чизиқлари атрофида

$r=5$ см радиусли айлана бўйлаб ҳосил бўлган вюрмавий электр майдоннинг кучланганлиги \mathcal{E}_i ни топинг.

Жавоб: $\mathcal{E}_i = \frac{\Delta\Phi/\Delta t}{2\pi r} = 78,5$ В/м.

51.7. Реактив двигателли самолётнинг тезлиги $v=1080$ км/соат. Агар Ернинг магнит индукциясининг вертикал ташкил этувчиси $B=5 \cdot 10^{-5}$ Тл ва самолёт қанотининг қулочи $l=12,5$ м бўлса, самолёт қанотларининг учида ҳосил бўладиган индукцион ЭЮК \mathcal{E}_i ни топинг.

Жавоб: $\mathcal{E}_i = Blv = 0,185$ В = 187,5 мВ

51.8. Агар магнит индукция оқимининг ўзгариш тезлиги $\Delta\Phi/\Delta t = 0,24$ Вб/с бўлганда ғалтакда $\mathcal{E}_i = 48$ В ЭЮК индукцияланса, ғалтакнинг урамлар сони N ни топинг.

Жавоб: $N = \frac{\mathcal{E}_i}{\Delta\Phi/\Delta t} = 200$.

51.9. Поезд $v=72$ км/соат тезлик билан ҳаракатланганда темир йўл рельсларига уланган гальванометр орқали ўтувчи токнинг кучи I ни топинг. Ернинг магнит майдони индукциясининг вертикал ташкил этувчиси $B=5 \cdot 10^{-5}$ Тл, гальванометрнинг қаршилиги $R=100$ Ом ва рельслар орасидаги масофа $l=1,2$ м. Рельсларни бир-бириван ва Ердан изоляцияланган деб ҳисобланг.

Жавоб: $I = \frac{Blv}{R} = 12 \cdot 10^{-6}$ А = 12 мкА.

51.10. Узунлиги $l=80$ см бўлган ўтказгич бир жинсли магнит майдоннинг индукция чизиқларига перпендикуляр ҳолда $v=8$ м/с тезлик билан ҳаракатланмоқда. Ўтказгич учларида $U=1,6$ В потенциаллар айирмаси ҳосил бўлган ҳол учун магнит майдоннинг индукцияси B ни топинг.

Жавоб: $B = \frac{U}{lv} = 0,25$ Тл.

52-§. ЎЗИНДУКЦИЯ ҲОДИСАСИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Соленоиддаги токнинг ўзгариш тезлиги $\Delta I/\Delta t = 50$ А/с бўлганда унинг учларида $\mathcal{E}_{\text{ўз}} = 0,075$ В ўзиндукцион ЭЮК ҳосил бўлади. Соленоиднинг индуктивлиги L топилисин.

Берилган: $\Delta I/\Delta t = 50$ А/с; $\mathcal{E}_{\text{ўз}} = 0,075$ В.

Толиш керак: $L = ?$

Ечилиши: Соленоидда ҳосил бўлган ўзиндукцион ЭЮК $\mathcal{E}_{ўз}$ ундаги токнинг ўзгариш тезлиги $\Delta I/\Delta t$ га пропорционалдир:

$$\mathcal{E}_{ўз} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t},$$

бунда L — пропорционаллик коэффициенти бўлиб, соленоиднинг ўзиндукция коэффициенти ёки индуктивлиги деб аталади. Юқоридаги формуладан топилиши керак бўлган соленоиднинг индуктивлиги L қуйидагига тенг бўлади:

$$L = \frac{|\mathcal{E}_{ўз}|}{\Delta I/\Delta t} = \frac{0,75 \text{ В}}{50 \text{ А/с}} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Жавоб: $L = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$

2-масала. Узунлиги $l = 40 \text{ см}$, кўндаланг кесим юзи $S = 4 \text{ см}^2$ ва ўрамлари сони $N = 800$ бўлган ғалтакнинг индуктивлиги L ни топинг. Ғалтак ўзаги материалнинг нисбий магнит сингдирувчанлиги $\mu = 500$.

Берилган: $l = 0,4 \text{ м}$; $S = 4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$; $N = 800$; $\mu = 500$;
 $\mu_0 = 12,56 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м.}$

Топиш керак: $L = ?$

Ечилиши: Узун ғалтакнинг индуктивлиги L қуйидаги формула ёрдамида аниқланади:

$$L = \mu_0 \mu n^2 V,$$

бунда $n = \frac{N}{l}$ — ғалтакнинг узунлик бирлигига мс келган ўрамлар сони, l — ғалтакнинг узунлиги, N — ўрамлар сони — $V = lS$ ғалтакнинг ҳажми, S — ғалтакнинг кўндаланг кесими юзи. n ва V нинг ифодаларини юқоридаги ўрнига қўйиб, L ни топамиз:

$$\begin{aligned} L &= \mu_0 \mu n^2 V = \mu_0 \mu \frac{N^2}{l^2} lS = \mu_0 \mu \frac{N^2}{l} S = \\ &= 12,56 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м} \cdot 500 \cdot \frac{64 \cdot 10^4}{0,4 \text{ м}} \cdot 4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 0,4 \text{ Гн.} \end{aligned}$$

Жавоб: $L = 0,4 \text{ Гн.}$

3-масала. Ўрамлари сони $N = 800$ бўлган соленоидда $\Delta t = 0,12 \text{ с}$ вақг оралигида ток кучи $I_1 = 1,5 \text{ А}$ дан $I_2 = 13,5 \text{ А}$ гача ўзгарганда унинг магнит индукция оқими $\Delta \Phi = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}$ га ортса, соленоиднинг индуктивлиги L ва ўзиндукцион ЭЮК $\mathcal{E}_{ўз}$ нимага тенг бўлади?

Берилган: $N = 800$; $\Delta t = 0,12 \text{ с}$; $I_1 = 1,5 \text{ А}$; $I_2 = 13,5 \text{ А}$;
 $\Delta \Phi = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ Вб.}$

Топиш керак: $L = ?$ $\mathcal{E}_{ўз} = ?$

Ечилиши: Соленоиднинг индуктивлиги L ни унга туташган магнит индукция оқими $\Phi = LI$ нинг ток кучи I пропорционаллигидан аниқлаш мумкин, яъни:

$$LI_1 = LI_2, \quad \text{бундан } L(I_2 - I_1) = L(I_2 - I_1)$$

келиб чиқади. Булардан фойдаланиб соленоиднинг индуктивлиги L ни топамиз:

$$L = N \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{I_2 - I_1} = N \frac{\Delta\Phi}{I_2 - I_1} = 800 \frac{2,4 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}}{13,5 \text{ А} - 1,5 \text{ А}} = 0,16 \text{ Гн.}$$

Соленоидда ҳосил бўлган ўзиндукцион ЭЮК $\mathcal{E}_{\text{ўз}}$ эса қуйидагига тенгдир:

$$\mathcal{E}_{\text{ўз}} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} = -L \frac{I_2 - I_1}{\Delta t} = -0,16 \text{ Гн} \frac{13,5 \text{ А} - 1,5 \text{ А}}{0,12 \text{ с}} = -16 \text{ В.}$$

Ушбу ҳолда ўзиндукцион ЭЮК $\mathcal{E}_{\text{ўз}}$ ни индукцион ЭЮКнинг асосий формуласидан топиш ҳам мумкин эканлигини эслатиб ўтамиз:

$$\mathcal{E}_{\text{ўз}} = -\frac{\Delta\psi}{\Delta t} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -800 \frac{2,4 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}}{0,12 \text{ с}} = -16 \text{ В.}$$

Жавоб: $L=0,16 \text{ Гн}$, $\mathcal{E}_{\text{ўз}} = -16 \text{ В}$.

Мустақил ечиш учун масалалар

52.1. Ўрамлари сони $N=800$ бўлган соленоиддан $I=4 \text{ А}$ ток ўтганда унинг кўндаланг кесими орқали ўтувчи магнит индукция оқими $\Phi=2,5 \cdot 10^{-6} \text{ Вб}$ бўлади. Соленоиднинг индуктивлигини топинг.

$$\text{Жавоб: } L = \frac{\psi}{I} = \frac{N\Phi}{I} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ Гн} = 0,5 \text{ мГн}$$

52.2. Индуктивлиги $L=4 \text{ мГн}$ бўлган ғалтакдан $I=12 \text{ А}$ ток ўтаётганда туташган магнит индукция оқими Ψ нимага тенг бўлади?

$$\text{Жавоб: } \Psi = LI = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ Вб} = 4,8 \text{ мВб.}$$

52.3. Индуктивлиги $L=2 \text{ мГн}$ бўлган ғалтакдан $I=52 \text{ А}$ ток ўтганда унинг кесимидан ўтувчи магнит индукция оқими $\Phi=12,5 \text{ мкВб}$ бўлади, ғалтакдаги ўрамлар сони N ни топинг.

$$\text{Жавоб: } N = \frac{LI}{\Phi} = 800.$$

52.4. Токли ғалтакнинг пўлат ўзагидаги магнит оқими $\Phi=25 \text{ мкВб}$. Агар чулғамдан ўтаётган токнинг кучи $I=5 \text{ А}$ бўлса ғалтакнинг индуктивлиги L ни топинг. Ғалтакдаги ўрамлар сони $N=800$.

$$\text{Жавоб: } L = \frac{N\Phi}{I} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ Гн} = 4 \text{ мГн.}$$

52.5. Контурдаги токнинг кучи $\Delta t=0,02 \text{ с}$ вақт оралиғида $I_1=0$ дан $I_2=12 \text{ А}$ гача текис ўзгарганда унда $\mathcal{E}_{\text{ўз}}=48 \text{ мВ}$ уз-

индукцион ЭЮК ҳосил бўлади. Контурнинг индуктивлиги L ни топинг.

$$\text{Жавоб: } L = \frac{\mathcal{E}_{\text{ЭЭ}} \cdot \Delta t}{I_2 - I_1} = 80 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} = 80 \text{ мкГн.}$$

52.6. Индуктивлиги $L = 24 \text{ мГн}$ бўлган ғалтакда ток $I_1 = 1,4 \text{ А}$ дан $I_2 = 16,4 \text{ А}$ гача текис ўзгарганда $\mathcal{E}_{\text{ЭЭ}} = 30 \text{ В}$ ўз-индукцион ЭЮК ҳосил бўлади. Токнинг ўзгариш вақти Δt ни топинг.

$$\text{Жавоб: } \Delta t = \frac{L(I_2 - I_1)}{\mathcal{E}_{\text{ЭЭ}}} = 12 \cdot 10^{-3} \text{ с} = 12 \text{ мс.}$$

52.7. Ўрамлари сони $N = 200$, кўндаланг кесимининг юзи $S = 20 \text{ см}^2$ ва индуктивлиги $L = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$ бўлган соленоиддан $I = 5 \text{ А}$ ток ўтиб турганда соленоиднинг ичидаги магнит майдоннинг индукцияси нимага тенг бўлади?

$$\text{Жавоб: } B = \frac{LI}{NS} = 15 \cdot 10^{-3} \text{ Тл} = 15 \text{ мТл.}$$

52.8. Темир ўзагининг кесими $S = 24 \text{ см}^2$, ўрамлари сони $N = 2000$ бўлган ғалтакнинг индуктивлиги $L = 1,2 \text{ мГн}$. Ўзакдаги магнит майдоннинг индукцияси $B = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ Тл}$ бўлиши учун ғалтак чулғамидан ўтиши лозим бўлган токнинг кучи I ни топинг.

$$\text{Жавоб: } I = \frac{NBS}{L} = 0,1 \text{ А.}$$

52.9. Узунлиги $l = 25 \text{ см}$, диаметри $d = 4 \text{ см}$ ва ўрамлари сони $N = 800$ бўлган ўзаксиз соленоиддан $I = 4 \text{ А}$ ток ўтаётган бўлса, унинг индуктивлиги L ва кўндаланг кесимидан ўтаётган тўлиқ магнит индукция оқими Ψ нимага тенг бўлади?

$$\text{Жавоб: } L = \frac{\mu_0 \mu N^2 l}{4l} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}; \Psi = LI = 16 \cdot 10^{-3} \text{ Вб} = 16 \text{ мВб.}$$

52.10. Индуктивлиги $L = 0,2 \text{ Гн}$ бўлган $N = 2000$ ўрамли ғалтакдан $I = 5 \text{ А}$ ток ўтганда, ғалтакда ҳосил бўладиган магнит индукция оқими Φ ни топинг.

$$\text{Жавоб: } \Phi = \frac{\Psi}{N} = \frac{LI}{N} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ Вб} = 0,5 \text{ мВб.}$$

53-§. МОДДАЛАРНИНГ МАГНИТ ХОССАЛАРИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Вакуум ($\mu = 1$) даги токли ғалтак ичидаги магнит майдоннинг индукцияси $B_0 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ Тл}$. Агар ғалтакка пў-

лат ўзак киритилганда индукцияси $B=1,2$ Тл гача ортган бўлса, пўлатнинг шу шароитдаги нисбий магнит сингдирувчанлиги μ ни топинг.

Берилган: $B_0=2 \cdot 10^{-4}$ Тл; $B=1,2$ Тл.

Топиш керак: $\mu=?$

Ечилиши. Муҳитнинг нисбий магнит сингдирувчанлиги деб, муҳитдаги магнит майдоннинг индукцияси B нинг вакуумдаги магнит майдоннинг индукцияси B_0 дан неча марта фарқ қилишини кўрсатувчи катталикка айтилади, яъни:

$$\mu = \frac{B}{B_0} = \frac{1,2 \text{ Тл}}{2 \cdot 10^{-4} \text{ Тл}} = 0,6 \cdot 10^4 = 6000.$$

Жавоб: $\mu=6000$.

2- масала. Миснинг нисбий магнит сингдирувчанлиги $\mu_1=0,999991$, платинаники $\mu_2=1,000360$ ва пўлатники $\mu_3=20 \div 2000$ бўлса, бу металлارни магнитларнинг қайси синфига киритиш мумкин?

Берилган: $\mu_1=0,999991$; $\mu_2=1,000360$; $\mu_3=20 \div 2000$.

Топиш керак: магнетикларнинг турини.

Ечилиши: Нисбий магнит сингдирувчанлигига қараб моддалар уч группага бўлинади:

Нисбий магнит сингдирувчанлиги вакуумники ($\mu=1$) дан бир оз кичик ($\mu < 1$) бўлган моддаларга диамагнетиклар, магнит сингдирувчанлиги бирдан бир оз каттароқ ($\mu > 1$) бўлган моддаларга парамагнетиклар ва ниҳоят $\mu \gg 1$ бўлган моддаларга ферромагнетик моддалар дейилади. Бинобарин, мис ($\mu_1=0,999991 < 1$)—диамагнетик, платина ($\mu_2=1,000360 > 1$)—парамагнетик ва пўлат ($\mu_3=20 \div 2000 \gg 1$)—ферромагнетикдир.

Жавоб: мис—диамагнетик, платина—парамагнетик ва пўлат—ферромагнетиклар турига киради.

3- масала. Токли соленоиднинг никель ўзагининг кесими юзи ($S=20 \text{ см}^2$) орқали ўтган магнит индукция оқими $\Phi=1,256 \cdot 10^{-2}$ Вб. Агар соленоид ичидаги бир жинсли магнит майдоннинг кучланганлиги $H=2,5 \cdot 10^4$ А/м бўлса, никелнинг шу шароитдаги нисбий магнит сингдирувчанлиги μ ни топинг.

Берилган: $H=2,5 \cdot 10^4$ А/м; $\Phi=1,256 \cdot 10^{-2}$ Вб; $S=2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$;

$$\mu_0=12,56 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}.$$

Топиш керак: $\mu=?$

Ечилиши: Соленоид ўзагининг кўндаланг кесими юзи S орқали ўтувчи магнит индукция оқими қуйидагига тенг:

$$\Phi = B \cdot S = \mu_0 \mu H S,$$

бунда B —магнит майдоннинг индукцияси, H эса кучланганлиги, μ_0 —магнит доимийси. Охири формуладан соленоид ўзак материалнинг нисбий магнит сингдирувчанлиги μ ни аниқлаб, унинг қийматини ҳисоблаб топамиз:

$$\mu = \frac{\Phi}{\mu_0 H S} = \frac{12,56 \cdot 10^{-2} \text{ Вб}}{12,56 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м} \cdot 2,5 \text{ А/м} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2} = 200.$$

Мустақил ечиш учун масалалар

53.1. Магнит индукцияси $B_0 = 2 \cdot 10^{-3}$ Тл бўлган вакуумдаги бир жинсли магнит майдонга жойлаштирилган темир бўлагидаги магнит майдоннинг индукцияси $B = 0,4$ Тл. Темирнинг шу шароитдаги нисбий магнит сингдирувчанлиги μ ни топинг.

Жавоб: $\mu = \frac{B}{B_0} = 200.$

53.2. Кумушнинг нисбий магнит сингдирувчанлиги $\mu_1 = 0,999981$, вольфрамники $\mu_2 = 1,000175$, таркибида кремний бўлган темирники эса $\mu_3 = 400 \div 10000$. Бу металллар магнетикларнинг қайси турига киради?

Жавоб: $\mu_1 < 1$ диамагнетик; $\mu_2 > 1$ парамагнетик; $\mu_3 \gg 1$ ферромагнетик.

53.3. Вакуумдаги токли ғалтак ичида ҳосил бўлган бир жинсли магнит майдоннинг индукцияси $B_0 = 1,5 \cdot 10^{-4}$ Тл бўлган. Агар унга пўлат ўзак киритилганда индукция $B = 0,6$ Тл гача ортган бўлса, пўлатнинг шу шароитдаги нисбий магнит сингдирувчанлиги μ ни топинг.

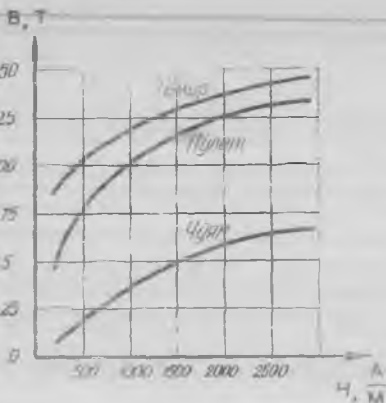
Жавоб: $\mu = \frac{B}{B_0} = 4000.$

53.4 Агар бир жинсли магнит майдонда жойлашган пўлат бўлаги ($\mu = 650$) даги магнит индукцияси $B = 1,4$ Тл бўлса, майдоннинг кучланганлиги H ни топинг.

Жавоб: $H = \frac{B}{\mu_0 \mu} = 1,7 \cdot 10^3$ А/м

53.5. Соленоид ичидаги бир жинсли магнит майдоннинг кучланганлиги $H = 2,4 \cdot 10^3$ А/м бўлса, унинг никель ўзагининг ($\mu = 250$) кўндаланг кесими юзи ($S = 1,6$ см²) орқали ўтувчи магнит индукция оқими Φ ни топинг.

Жавоб: $\Phi = B \cdot S = \mu_0 \mu H S = 120 \cdot 10^{-6}$ Вб = 120 мкВб.



9.5- расм

53.6. Темирнинг магнитланиш графиги $B = f(H)$ дан (9.5-расм) фойдаланиб, кучланганлиги $H = 1$ кА/м бўлган бир жинсли магнит майдонга жойлаштирилган темир ўзакдаги майдоннинг индукцияси B ни ва темирнинг нисбий магнит сингдирувчанлиги μ ни топинг.

Жавоб: $B = f(H)$ дан $H = 10^3 \text{ А/м} \Rightarrow B = 1,29 \text{ Тл}; \mu = \frac{B}{\mu_0 H} = 1030.$

53 7. Агар чўян ўзакнинг кўндаланг кесими юзи ($S = 4 \text{ см}^2$) орқали ўтаётган магнит индукция оқими $\Phi = 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$ бўлса, чуянинг магнитланиш графиги $B = f(H)$ дан (9.5-расм) фойдаланиб шу шароитдаги нисбий магнит сингдирувчанлиги μ ни топинг.

Жавоб: $B = \frac{\Phi}{S} = 0,5 \text{ Тл} \Rightarrow B = f(H) \Rightarrow H = 1500 \text{ В}; \mu = \frac{B}{\mu_0 H} = 265.$

53 8. Пўлатнинг магнитланиш графиги $B = f(H)$ дан (9.5-расм) фойдаланиб, вакуумдаги индукцияси $B_0 = 12,56 \cdot 10^{-4} \text{ Тл}$ бўлган бир жинсли магнит майдонга жойлаштирилган пўлатдаги магнит майдоннинг индукцияси B ни ва шу шароитдаги пўлатнинг нисбий магнит сингдирувчанлиги μ ни топинг.

Жавоб: $H = \frac{B_0}{\mu_0} = 1000 \text{ А/м} \Rightarrow B = f(H) \Rightarrow B = 1,1 \text{ Тл}; \mu = \frac{B}{\mu_0 H} = 875.$

54-§. ТОКНИНГ МАГНИТ МАЙДОНИ ЭНЕРГИЯСИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Индуктивлиги $L = 0,6 \text{ Гн}$ бўлган ғалтакдан $I = 5 \text{ А}$ ток ўтаётган бўлса, ғалтакда ҳосил бўлган магнит майдоннинг энергияси W_m ни топинг.

Берилган: $L = 0,6 \text{ Гн}; I = 5 \text{ А}.$

Топиш керак: $W_m = ?$

Ечилиши: Индуктивлиги L бўлган ғалтакдан I ток ўтаётганда унда ҳосил бўладиган магнит майдоннинг энергияси W_m қуйидаги формуладан топилади:

$$W_m = \frac{LI^2}{2} = \frac{0,6 \text{ Гн} \cdot 25 \text{ А}^2}{2} = 7,5 \text{ ГнА}^2 = 7,5 \text{ Ж}.$$

Жавоб: $W_m = 7,5 \text{ Ж}.$

2-масала. Узунлиги $l = 0,4 \text{ м}$, кўндаланг кесимнинг юзаси $S = 2 \text{ см}^2$ ва узунлик бирлигига мос келган ўрамлари сони $n = 25 \text{ 1/см}$ булган ўзаксиз соленоид чулғамларидан $I = 0,8 \text{ А}$ ток ўтаётган бўлса, соленоид ичида ҳосил бўлган магнит майдоннинг энергияси W_m топилин.

Берилган: $l = 0,4 \text{ м}; S = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2, n = 25 \text{ 1/см} = 25 \cdot 10^2 \text{ 1/м},$
 $I = 0,8 \text{ А}, \mu = 1, \mu_0 = 12,56 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}.$

Топиш керак: $W_m = ?$

Ечилиши: Индуктивлиги L бўлган соленоиддан ток ўтаётганда унда ҳосил бўладиган магнит майдоннинг энергияси W_m қуйидаги формуладан аниқланади:

$$W_m = \frac{LI^2}{2}.$$

Соленоиднинг индуктивлиги L , узунлик бирлигига мос келган ўрамлар сони n га, $V = lS$ ҳажмига ва муҳитнинг магнит хусусияти, яъни абсолют магнит сингдирувчанлиги $\mu_a = \mu_0\mu$ га боғлиқ бўлиб, у қуйидагига тенгдир:

$$L = \mu_a n^2 V = \mu_0 \mu n^2 l S,$$

бунда μ_0 — магнит доимийси, μ — муҳитнинг нисбий магнит сингдирувчанлиги. Индуктивлик L нинг ифодасини юқоридаги ўрнига қўйилса:

$$\begin{aligned} W_m &= \frac{LI^2}{2} = \frac{\mu_0 \mu n^2 l S I^2}{2} = \\ &= \frac{12,56 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м} \cdot 1,625 \cdot 10^4 \text{ 1/м}^2 \cdot 0,4 \text{ м} \cdot 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot 0,64 \text{ А}^2}{2} = \\ &= 2010 \cdot 10^{-7} \text{ Гн} \cdot \text{А} \approx 2 \cdot 10^{-4} \text{ Ж}. \end{aligned}$$

Жавоб: $W_m = 2 \cdot 10^{-4}$ Ж.

3-масала. Узунлик бирлигига мос келган ўрамлари сони $n=40$ 1/см бўлган ёғоч ўзакли токли соленоидда ҳосил бўлган магнит майдон энергиясининг зичлиги $W_m = 2$ Ж/м³ бўлса, соленоиддан ўтаётган ток кучи I ни топиш.

Берилган: $n = 40$ 1/см = $4 \cdot 10^3$ 1/м, $W_m = 2$ Ж/м³, $\mu = 1$,
 $\mu_0 = 12,56 \cdot 10^{-7}$ Гн/м.

Топиш керак: $I = ?$

Ечилиши: Индуктивлиги L бўлган соленоиддан I ток ўтаётганда унда ҳосил бўладиган магнит майдоннинг энергияси

$$W_m = \frac{LI^2}{2}.$$

Бундан фойдаланиб магнит майдон энергиясининг зичлиги w_m ни топамиз:

$$w_m = \frac{W_m}{V} = \frac{LI^2}{2V},$$

бу ерда $L = \mu_0 \mu n^2 V$ бўлиб, бунда μ_0 — магнит доимийси, μ — муҳитнинг нисбий магнит сингдирувчанлиги, n — соленоиднинг узунлик бирлигига мос келган ўрамлари сони, V — соленоиднинг ҳажми.

L нинг ифодасини юқоридаги ўрнига қўйилса:

$$w_m = \frac{LI^2}{2V} = \frac{\mu_0 \mu n^2 V I^2}{2V} = \frac{\mu_0 \mu n^2 I^2}{2}.$$

Бундан топилиши керак бўлган токнинг кучи I қуйидагига тенг бўлади:

$$I = \sqrt{\frac{2w_m}{\mu_0 \mu n^2}} = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{2w_m}{\mu_0 \mu}} = \frac{1}{4 \cdot 10^3 \text{ 1/м}} \sqrt{\frac{2 \cdot 2 \text{ Ж/м}^3}{12,56 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м} \cdot 1}} = 0,45 \text{ А}.$$

Жавоб. $I = 0,45$ А.

Муस्ताқил ечиш учун масалалар

54.1. Индуктивлиги $L=0,6$ Гн бўлган соленоиддан $I=20$ А ток ўтаётган бўлса, соленоид ичида ҳосил бўлган магнит майдоннинг энергияси W_m ни топинг.

Жавоб: $W_m = \frac{LI^2}{2} = 120 \text{ Ж.}$

54.2. Индуктивлиги $L=0,5$ Гн бўлган токли соленоидда ҳосил бўлган магнит майдоннинг энергияси $W_m=4$ Ж. Соленоиддан утаётган токнинг кучи I ни топинг.

Жавоб: $I = \sqrt{\frac{2W_m}{L}} = 4 \text{ А.}$

54.3. Ўрамлари сони $N=240$ бўлган ғалтакдан $I=6$ А ток ўтганда унинг кундаланг кесим юзидан ўтувчи магнит индукция оқими $\Phi=2,5 \cdot 10^{-3}$ Вб бўлса, ғалтак ичида ҳосил бўладиган магнит майдон энергияси W_m ни топинг.

Жавоб: $W_m = \frac{IN\Phi}{2} = 1,8 \text{ Ж.}$

54.4. Агар соленоиддан утаётган токнинг кучи $I=8$ А бўлганда унинг ичидаги магнит майдоннинг энергияси $W_m=0,32$ Ж бўлса, соленоиднинг индуктивлиги L ни топинг.

Жавоб: $L = \frac{2W_m}{I^2} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} = 10 \text{ мГн.}$

54.5. Ток $\Delta I=4$ А га текис ортганда магнит майдоннинг энергияси $\Delta W_m=2,4 \cdot 10^{-2}$ Ж га ортадиган соленоиднинг индуктивлиги L ни топинг. Занжирдаги токнинг ўртача қиймати $I_{\text{ур}}=5$ А.

Жавоб: $L = \frac{\Delta W_m}{I_{\text{ур}} \Delta I} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} = 1,2 \text{ мГн.}$

54.6. Ғалтакдаги ток $I_1=15$ А дан $I_2=5$ А гача бир текис ўзгарганда ғалтакнинг магнит майдон энергияси $\Delta W_m=4$ Ж га камайган. Ғалтакнинг индуктивлиги L ни топинг.

Жавоб: $L = \frac{2\Delta W_m}{I_1^2 - I_2^2} = 40 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} = 40 \text{ мГн.}$

54.7. Қаршилиги $R=12$ Ом ва индуктивлиги $L=25$ мГн бўлган ғалтак $U=120$ В кучланишли ўзгармас ток манбаига уланганда ғалтакда ҳосил бўладиган магнит майдоннинг энергияси W_m ни топинг.

Жавоб: $W_m = \frac{L}{2} \left(\frac{U}{R} \right)^2 = 1,25 \text{ Ж.}$

54.8 Узунлиги $l = 40$ см ва кўндаланг кесимининг юзи $S = 4$ см² бўлган соленоиднинг индуктивлиги $L = 25$ мкГн. Соленоид ичидаги магнит майдон энергиясининг зичлиги $w_m = 5 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Ж}}{\text{м}^3}$ бўлса, соленоиддан ўтаётган ток кучи I ни топинг.

$$\text{Жавоб: } I = \sqrt{\frac{2ISw_m}{L}} = 0,8 \text{ А.}$$

54.9. Узунлик бирлигига мос келган ўрамлари сони $n = 500$ 1/м бўлган ўзаксиз соленоиддан $I = 8$ А ток ўтаётганда соленоиднинг ичида ҳосил бўладиган магнит майдон энергияси зичлиги w_m ни топинг.

$$\text{Жавоб. } w_m = \frac{\mu_0 I^2 n^2}{2} = 10 \text{ Ж/м}^3.$$

54.10. Токли соленоиднинг ёпиқ ўзагидаги магнит майдоннинг кучланганлиги $H = 1,2$ КА/м бўлса, ўзакдаги магнит майдон энергиясининг зичлиги w_m ни топинг. Шу шароитдаги темирнинг нисбий магнит сингдирувчанлиги $\mu = 900$.

$$\text{Жавоб: } w_m = \frac{\mu_0 \mu H^2}{2} = 814 \frac{\text{Ж}}{\text{м}^3}.$$

54.11. Узунлик бирлигига мос келган ўрамлари сони $n = 800$ 1/м бўлган ўзаксиз токли соленоид ичидаги магнит майдоннинг энергияси зичлиги $w_m = 2,5$ Ж/м³ бўлса, соленоиддан ўтаётган ток кучи I ни топинг.

$$\text{Жавоб: } I = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{2w_m}{\mu_0 \mu}} = 2,5 \text{ А.}$$

Тўртинчи қисм

ТЕБРАНИШЛАР ВА ТЎЛҚИНЛАР

Х б о б. ТЕБРАНИШЛАР ВА ТЎЛҚИНЛАРНИНГ ФИЗИК АСОСЛАРИ

● *Гармоник тебранма ҳаракат тенгламаси* қуйидаги кўринишга эга:

$$x = A \sin(\omega t + \varphi_0) = A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi_0\right) = A \sin(2\pi\nu t + \varphi_0), \quad (\text{XI.1})$$

бунда x — тебранаётган нуқтанинг мувозанат вазиятидан силжиши, A — тебраниш амплитудаси, ω — циклик частота ($\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$), T — тебраниш даври, ν — тебраниш частотаси, φ_0 — бошланғич фаза, $(\omega t + \varphi_0)$ — тебранишнинг t вақтдаги фазоси.

● *Гармоник тебранаётган нуқтанинг тезлиги* v силжиш x дан вақт t бўйича олинган биринчи тартибли ҳосиллага тенгдир.

$$v = \frac{dx}{dt} = A\omega \cos(\omega t + \varphi_0) = v_0 \cos(\omega t + \varphi_0), \quad (\text{XI.2})$$

бунда v_0 — тезликнинг максимал (амплитуда) ифодаси:

$$v_0 = A\omega = A \frac{2\pi}{T} = A2\pi\nu. \quad (\text{XI.9a})$$

● *Гармоник тебранаётган нуқтанинг тезланиши* a тезлик v дан вақт t бўйича олинган биринчи тартибли, силжиш x дан вақт t бўйича олинган иккинчи тартибли ҳосиллага тенгдир:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = -A\omega^2 \sin(\omega t + \varphi_0) = -a_0 \sin(\omega t + \varphi_0), \quad (\text{XI.3})$$

ёки

$$a = -\omega^2 x = -\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 x = -(2\pi\nu)^2 x, \quad (\text{XI.3a})$$

● *Гармоник тебранишни юзага келтирувчи куч* F Ньютоннинг иккинчи қонунига биноан қуйидаги кўринишга эга:

$$F = ma = -\frac{4\pi^2 m}{T^2} A \sin(\omega t + \varphi_0) = -\frac{4\pi^2 m}{T^2} x = -kx, \quad (\text{XI.4})$$

бунда k — квазиэластик кучнинг деформация коэффициенти бўлиб, у қуйидагига тенгдир:

$$k = \frac{4\pi^2 m}{T^2}. \quad (\text{XI.5})$$

● Тебранаётган нуқтанинг кинетик энергияси:

$$W_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{2\pi^2 A^2 m}{T^2} \cos^2 \left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi_0 \right). \quad (\text{XI.6})$$

● Тебранаётган нуқтанинг потенциал энергияси:

$$W_p = \frac{kx^2}{2} = \frac{2\pi^2 A^2 m}{T^2} \sin^2 \left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi_0 \right). \quad (\text{XI.7})$$

● Тебранаётган нуқтанинг тўлиқ энергияси:

$$W_\tau = W_k + W_p = \frac{2\pi^2 A^2 m}{T^2}. \quad (\text{XI.8})$$

● Кичик бурчак остида тебранаётган математик маятникнинг тебраниш даври T қуйидагига тенг:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \quad (\text{XI.9})$$

бунда l — маятникнинг тебраниш даври, g — эркин тушиш тезланиши.

● Пружинага осилган m массали жисмнинг тебраниш даври T қуйидаги формуладан аниқланади:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}, \quad (\text{XI.10})$$

бунда k — пружинанинг қаттиқлик коэффициенти бўлиб, уни бир бирлик чўзиш учун зарур бўлган кучга миқдор жиҳатдан тенгдир, яъни:

$$k = \frac{\Delta F}{\Delta l}. \quad (\text{XI.11})$$

● Тўлқиннинг тарқалиш тезлиги v , тўлқин узунлиги λ , даври T (ёки частотаси ν) ўзаро қуйидаги боғланишга эга:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda\nu. \quad (\text{XI.12})$$

● Тўлқин манбаидан l масофадаги фазо нуқтасининг силжиши, яъни югурувчи тўлқиннинг тенгламаси қуйидаги кўринишга эга:

$$x = A \sin \omega \left(t - \frac{l}{v} \right) = A \sin \frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{l}{v} \right). \quad (\text{XI.13})$$

● Тўлқин манбаидан l_1 ва l_2 масофада ётувчи икки нуқтанинг фазалар фарқи $\varphi_2 - \varphi_1$ қуйидагига тенгдир:

$$\varphi_2 - \varphi_1 = 2\pi \frac{l_2 - l_1}{\lambda}. \quad (\text{XI.14})$$

● Бўйлама тўлқиннинг эластик муҳитда тарқалиш тезлиги қуйидаги формуладан аниқланади:

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (\text{XI.15})$$

бунда E —бўйлама эластиклик модули (Юнг модули), ρ —муҳитнинг зичлиги.

● Кўндаланг тўлқиннинг эластик муҳитда тарқалиш тезлиги v қуйидаги формуладан аниқланади:

$$v = \sqrt{\frac{G}{\rho}}, \quad (\text{XI.16})$$

бунда G —модданинг силжиш модули.

● Тебраниш контурининг тебраниш даври (T) Томсон формуласидан аниқланади:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}, \quad (\text{XI.17})$$

бунда L —контурнинг индуктивлиги, C —контурнинг сифими.

● Сифими C , индуктивлиги L ва қаршилиги R бўлган контурдаги электромагнит тебранишнинг даври T қуйидаги формуладан аниқланади:

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}}, \quad (\text{XI.18})$$

● Энергиянинг сақланиш қонунига биноан тебраниш контуридаги конденсатор қопламалари орасидаги максимал электрмайдон энергияси $\frac{CU_0^2}{2}$ ғалтакдаги максимал магнит майдон

энергияси $\frac{LI_0^2}{2}$ га айланади, яъни:

$$\frac{CU_0^2}{2} = \frac{LI_0^2}{2}, \quad (\text{XI.19})$$

бунда C —конденсаторнинг сифими, L —ғалтакнинг индуктивлиги, U_0 —конденсатор қопламаларидаги максимал кучланиш, I_0 —контурдаги токнинг максимал қиймати.

Электромагнит тўлқиннинг узунлиги λ қуйидаги муносабатдан аниқланади:

$$\lambda = cT = \frac{c}{\nu}, \quad (\text{XI.20})$$

бунда T —электромагнит тўлқиннинг даври, ν —частотаси, c —унинг вакуумдаги тарқалиш тезлиги бўлиб, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с га тенг.

● Электромагнит тўлқиннинг нисбий диэлектрик сингдирувчанлиги ϵ ва нисбий магнит сингдирувчанлиги μ бўлган

муҳитдаги тарқалиш тезлиги v қуйидаги формуладан аниқланади:

$$v = \frac{c}{n} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}. \quad (\text{XI.21})$$

55-§. МЕХАНИК ТЕБРАҶИШЛАР

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Нуқтанинг тебраниш тенгламаси $x = 0,2\sin\left(\frac{\pi}{4}t + \frac{\pi}{4}\right)$ м кўринишига эга. Тебранишнинг амплитудаси A , даври T , частотаси ν , бошланғич фазаси φ_0 , нуқтанинг $t_1 = \frac{T}{4}$ пайтдаги силжиши x_1 ва тебранишнинг фазаси φ_1 топилсин.

Берилган: $x = 0,2\sin\left(\frac{\pi}{4}t + \frac{\pi}{4}\right)$ м; $t_1 = \frac{T}{4}$

Топиш керак: $A = ?$ $T = ?$ $\nu = ?$ $x_1 = ?$ $\varphi_1 = ?$

Ечилиши: Масалани ечиш учун берилган тенгламани гармоник тебранишнинг умумий кўринишдаги тенгламаси билан солиштирамиз:

$$x = 0,2\sin\left(\frac{\pi}{4}t + \frac{\pi}{4}\right)$$

ёки

$$x = A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi_0\right).$$

Бу икки тенгламанинг таққосланишидан қуйидагилар келиб чиқади:

Тебранишнинг амплитудаси $A = 0,2$ м, даври $\frac{2\pi}{T}t = \frac{\pi}{4}t$, бундан $T = 8$ с экан; у ҳолда частота $\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{8} = 0,125 \text{ с}^{-1} = 0,125$ Гц; бошланғич фазаси $\varphi = \frac{\pi}{4}$. Тебраниш фазаси $\varphi_1 = \frac{2\pi}{T}t_1 + \frac{\pi}{4} = \frac{2\pi}{7} \cdot \frac{7}{4} + \frac{\pi}{4} = \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{4} = \frac{3}{4}\pi$ ва ниҳоят нуқтанинг силжиши $x_1 = 0,2\sin\frac{3}{4}\pi$, м $= 0,2 \cdot 0,707$ м $= 0,1414$ м.

Жавоб: $A = 0,2$ м, $T = 8$ с, $\nu = 0,125$ Гц, $\varphi_0 = \frac{\pi}{4}$, $x_1 = 0,1414$ м, $\varphi_1 = \frac{3}{4}\pi$.

2-масала. Моддий нуқтанинг тебраниши $x = 0,25\sin\left(\pi t + \frac{\pi}{2}\right)$, м қонун бўйича юз беради. Тебраниш амплитудаси A , даври T , циклик частотаси ω , бошланғич фазаси φ_0 , максимал тезлиги v_{\max} ва максимал тезланиши a_{\max} топилсин.

Берилган: $x = 0,25 \sin\left(\pi t + \frac{\pi}{2}\right)$, м.

Топиш керак: $A = ?$ $T = ?$ $\omega = ?$ $\varphi_0 = ?$ $v_{\max} = ?$ $a_{\max} = ?$

Ечилиши: Топилиши керак бўлган катталикларни аниқлаш учун тебранишнинг тенгламасини гармоник тебранишнинг умумий кўринишдаги тенгламаси билан солиштирамиз:

$$x = 0,25 \sin\left(\pi t + \frac{\pi}{2}\right), \text{ м};$$

$$x = A \sin\left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi_0\right), \text{ м}.$$

Бу икки тенглама таққосланишидан қуйидаги келиб чиқади: тебранишнинг амплитудаси $A = 0,25$ м; даври $\frac{2\pi}{T} = \pi t$, бунда

$T = 2$ с; циклик частотаси $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{2} = \pi$ рад/с $= 3,14$ рад/с;

бошланғич фазаси $\varphi_0 = \frac{\pi}{2}$.

Тебранишнинг тезлиги v ва тезланиши a мос равишда силжиш функциясининг биринчи ва иккинчи тартибли ҳосиласидан иборат бўлганлиги учун:

$$v = \frac{dx}{dt} = 0,25 \pi \cos\left(\pi t + \frac{\pi}{2}\right) \text{ бўлиб, } v_{\max} = 0,25 \pi \text{ м/с} = \\ = 0,25 \cdot 3,14 \text{ м/с} = 0,785 \text{ м/с}.$$

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{dv}{dt} = -0,25 \pi^2 \sin\left(\pi t + \frac{\pi}{2}\right) \text{ бўлиб,} \\ a_{\max} = -0,25 \cdot \pi^2 \text{ м/с}^2 = -0,25 \cdot 3,14^2 \text{ м/с}^2 = -2,46 \text{ м/с}^2.$$

Жавоб: $A = 0,25$ м, $T = 2$ с, $\omega = \pi$ рад/с $= 3,14$ рад/с, $\varphi_0 = \frac{\pi}{2}$, $v_{\max} = 0,785$ м/с, $a_{\max} = -2,46$ м/с².

3-масала. Шифтига $l = 1,2$ м узунликли математик маятник осилган лифт пастга $a_1 = g/4$ тезланиш билан туша бошлайди. Лифт ҳаракат бошланишидан $t_1 = 3$ с ўтгандан кейин текис ҳаракатланади, сўнгра $t_3 = 3$ с давомида тўхтагунча тормозланади. Йўлнинг ҳар бир қисмидаги маятникнинг тебраниш давлари T_1 , T_2 , T_3 топилсин.

Берилган: $l = 1,2$ м; $t_1 = 3$ с, $a_1 = g/4$; $t_2 \neq 0$; $v_2 = \text{const}$, $a_2 = 0$, $t_3 = 3$ с, $a_3 = \text{const}$, $g = 9,8$ м/с².

Топиш керак: $T_1 = ?$ $T_2 = ?$ $T_3 = ?$

Ечилиши: Математик маятникнинг умумий ҳолдаги тебраниш даври T қуйидаги формуладан аниқланади:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g_n}},$$

бунда l —маятникнинг узунлиги, g_n —Ернинг тортиш майдонида ҳаракатланаётган системадаги натижаловчи эркин тушиш тезланиши.

Лифт текис ҳаракатланганда $g_n = g$ бўлиб, тебраниш даври қуйидагига тенг бўлади:

$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Агар лифт текис ўзгарувчан ҳаракатланса, нагизаловчи тебраниш $\vec{g}_n = \vec{g} + \vec{a}$ бўлиб, бунда \vec{a} вектор модуль жиҳатдан лифтнинг тезланиш векторига тенг ва унга қарама-қарши йўналган бўлади.

Бинобарин, лифт a_1 тезланиш билан текис тезланувчан ҳаракатланганда $g_n = g - a_1$, даври T_1 эса қуйидагига тенг бўлади:

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g - a_1}}$$

Лифт тормозланганда, яъни текис секинланувчан ҳаракатда $g_n = g + a_1$ бўлиб, бунда $a_3 = a_1$, чунки лифт тинч ҳолатдан қанча вақт ичида тезлашса, тўхтагунча худди шунча вақтда тормозланади (шартга кўра $t_1 = t_3 = 3$ с). Бу ҳолда маятникнинг даври қуйидагича бўлади:

$$T_3 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g + a_1}}$$

Шундай қилиб, маятникнинг лифт йўлининг ҳар қайси қисмидаги тебраниш давларини ҳисоблаб топамиз:

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g - a_1}} = 2 \cdot 3,14 \sqrt{\frac{1,2 \text{ м}}{9,8 \text{ м/с}^2 - 1/4 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2}} = 2,54 \text{ с},$$

$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} = 2 \cdot 3,14 \sqrt{\frac{1,2 \text{ м}}{9,8 \text{ м/с}^2}} = 2,20 \text{ с},$$

$$T_3 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g + a_1}} = 2 \cdot 3,14 \sqrt{\frac{1,2 \text{ м}}{9,8 \text{ м/с}^2 + 1/4 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2}} = 1,97 \text{ с}.$$

Жавоб: $T_1 = 2,54$ с, $T_2 = 2,20$ с, $T_3 = 1,97$ с.

Мустақил ечиш учун масалалар

55 1. Моддий нуқта $t = 2$ минда $N = 600$ марта тебранади. Тебранишнинг даври T , частотаси ν ва циклик частотаси ω ни топинг.

$$\text{Жавоб: } T = \frac{t}{N} = 0,2 \text{ с}; \nu = \frac{N}{t} = 5 \text{ Гц}; \omega = 2\pi \frac{N}{t} = 31,4 \text{ рад/с}.$$

55 2. Моддий нуқта $x = 0,25 \sin\left(\pi t + \frac{\pi}{3}\right)$, м қонун бўйича гармоник тебранса, тебранишнинг амплитудаси A , даври T , частотаси ν , циклик частотаси ω ва бошлангич фазаси φ_0 ни топинг.

$$\text{Жавоб: } x = A \sin(\omega t + \varphi_0) \Rightarrow A = 0,25 \text{ м; } \frac{2\pi}{T} t = \pi t \Rightarrow T = 2 \text{ с;}$$

$$2\pi\nu t = \pi t \Rightarrow T = 0,5 \text{ Гц; } \omega t = \pi t \Rightarrow \omega = \pi \text{ рад/с} = 3,14 \text{ рад/с; } \varphi_0 = \frac{\pi}{3} = 60^\circ.$$

55.3. Агар гармоник тебранишнинг амплитудаси $A = 0,2$ м, даври $T = 2$ с ва бошланғич фазаси $\varphi_0 = \pi/4$ бўлса, тебранишнинг силжиш тенгламасини ёзинг.

$$\text{Жавоб: } x = A \sin\left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi_0\right) = 0,2 \sin(\pi t + \pi/4), \text{ м.}$$

55.4. Агар гармоник тебранишнинг амплитудаси $A = 6$ см, частотаси $\nu = 5$ Гц ва бошланғич фазаси $\varphi_0 = \pi/5$ бўлса, тебранишнинг силжиш тенгламасини ёзинг.

$$\text{Жавоб: } x = A \sin(2\pi\nu t + \varphi_0) = 0,06 \sin(10\pi t + \pi/5), \text{ м.}$$

55.5. Моддий нуқта $x = 0,04 \sin(2\pi t + \pi/2)$, м қонун бўйича гармоник тебранса, тебранишнинг амплитудаси A , даври T , частотаси, ν циклик частотаси ω , бошланғич фазаси φ_0 ни, шунингдек, максимал тезлиги v_{\max} ва максимал тезланиши a_{\max} ни топинг.

$$\text{Жавоб: } x = A \sin\left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi_0\right) = A \sin(2\pi\nu t + \varphi_0) = 0,04 \sin(2\pi t + \pi/2), \text{ м} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м; } \frac{2\pi}{T} t = 2\pi t \Rightarrow T = 1 \text{ с; } 2\pi\nu t = 2\pi t \Rightarrow \nu = 1 \text{ Гц; } \varphi_0 = \frac{\pi}{2} = 90^\circ;$$

$$v_{\max} = A \frac{2\pi}{T} \approx 0,25 \text{ м/с}^2; a_{\max} = -A \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = -1,58 \text{ м/с}^2.$$

55.6. Амплитудаси $A = 5 \cdot 10^{-2}$ м, циклик частотаси $\omega = 2\pi$ рад/с га тенг бўлса, тебранишнинг максимал тезлиги v_{\max} ни ва максимал тезланиши a_{\max} ни топинг.

$$\text{Жавоб: } v_{\max} = A\omega = 0,314 \text{ м/с; } a_{\max} = -A\omega^2 = -1,37 \text{ м/с}^2.$$

55.7. Массаси $m = 0,2$ кг бўлган жисм $x = 0,05 \sin(4\pi t + \pi)$ м қонун бўйича гармоник тебранмоқда. Тебранишнинг максимал тезлиги v_{\max} ни, максимал тезланиши a_{\max} ни ҳамда тебранишнинг тўлиқ энергияси W_T ни топинг.

$$\text{Жавоб: } x = A \sin\left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi_0\right) = 0,05 \sin(4\pi t + \pi), \text{ м;}$$

$$v_{\max} = A\omega = 0,5 : 4\pi = 0,628 \text{ м/с;}$$

$$a_{\max} = -A\omega^2 = -0,05(4\pi)^2 = -1,97 \text{ м/с}^2;$$

$$W_T = \frac{m A^2 \omega^2}{2} = \frac{0,2 \text{ кг} \cdot 4^2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 (4\pi)^2 / \text{с}^2}{2} = 3,34 \cdot 10^{-2} \text{ Ж.}$$

55.8. Бикрлик коэффициенти $k = 200$ Н/м бўлган пружинага осилган юк $t = 2$ минда $N = 240$ марта тебранади. Юкнинг массаси m ни топинг.

$$\text{Жавоб: } m = \frac{k}{4\pi^2} \left(\frac{t}{N}\right)^2 = 1,26 \text{ кг;}$$

55.9. Пружинага осилган $m = 0,1$ кг массали юк вертикал йўналишда $A = 5$ см амплитуда билан тебранмоқда. Агар пружина $F = 0,24$ Н куч таъсирида $l = 2$ см га чўзилса, пружинанинг бирлик коэффиценти k , пружинали маятникнинг тебраниш даври T ҳамда энергияси W_T ни топинг.

Жавоб: $k = \frac{F}{l} = 12$ Н/м; $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 0,57$ с; $W_T = \frac{ml^2}{2} = 24 \cdot 10^{-2}$ Ж.

55.10. Санкт-Петербургдаги Исаакий соборида ўрнатилган, Фуко маятникининг узунлиги $l = 98$ м бўлса, унинг тебраниш даври T ни топинг.

Жавоб: $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = 19,86$ с.

55.11. Узунлиги $l = 155$ см бўлган математик маятник $t = 5$ мин давомида $N = 120$ марта тебранган бўлса, эркин тушиш тезлиниши g ни топинг.

Жавоб: $g = 4\pi^2 l \left(\frac{N}{t}\right)^2 = 9,78$ м/с².

55.12. Узунлиги $l = 1$ м бўлган математик маятник лифтининг шифтига осилган. Лифт $a = 5$ м/с² тезланиш билан: 1) тик юқорига; 2) тик пастга ҳаракатлангандаги маятникнинг тебраниш давлари T_1, T_2 ни топинг.

Жавоб: $T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = 1,63$ с; $T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g-a}} = 2,61$ с.

56-§. МЕХАНИК ТЎЛҚИНЛАР

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. $\nu = 4$ Гц частотали тўлқин чизимча бўйлаб $v = 6$ м/с тезлик билан тарқалаётган бўлса, унинг тўлқин узунлиги λ ва бир-биридан $\Delta l = 50$ см ораликда ётган икки нуқталарнинг фазалар фарқи $\Delta\varphi$ топилин.

Берилган: $\nu = 4$ Гц $= 4 \frac{1}{c}$; $v = 6$ м/с; $\Delta l = 50$ см $= 0,5$ м.

Топиш керак: $\lambda = ?$ $\Delta\varphi = ?$

Ечилиши: Тўлқин узунлиги λ ни қуйидаги формуладан аниқлаймиз:

$$\lambda = \frac{v}{\nu} = \frac{6 \text{ м/с}}{4 \text{ 1/с}} = 1,5 \text{ м.}$$

Тўлқин нуқталарининг орасидаги масофа Δl тўлқин узунлиги λ га нисбатан қанча ўзгарса, нуқталарнинг фазалар фарқи $\Delta\varphi$ ҳам 2π га нисбатан шунча ўзгаради, яъни:

$$\frac{\Delta l}{\lambda} = \frac{\Delta\varphi}{2\pi}$$

Бундан тўлқиннинг икки нуқтаси орасидаги фазалар фарқи $\Delta\varphi$ ни аниқлаймиз:

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{\Delta l}{\lambda} = 2 \cdot 180^\circ \cdot \frac{0,5 \text{ м}}{1,5 \text{ м}} = 120^\circ.$$

Жавоб: $\lambda = 1,5 \text{ м}$, $\Delta\varphi = 120^\circ$.

2-масала. Камертон билан сувда ҳосил қилинган тўлқин бир қирғоқдан $s = 200 \text{ м}$ масофадаги иккинчи қирғоққа $t = 125 \text{ с}$ да етиб келган. Агар сув тўлқинининг қирғоққа урилиш частотаси $\nu = 0,4 \text{ Гц}$ бўлса, унинг тўлқин узунлиги λ топилсин.

Берилган: $s = 200 \text{ м}$; $t = 125 \text{ с}$; $\nu = 0,4 \text{ Гц} = 0,41/\text{с}$.

Топиш керак: $\lambda = ?$

Ечилиши: Тўлқиннинг узунлиги λ унинг тарқалиш тезлиги v ва частотаси билан қуйидаги боғланишга эга:

$$\lambda = \frac{v}{\nu}.$$

Бунда тўлқиннинг тарқалиш тезлиги $v = s/t$. Бинобарин:

$$\lambda = v/\nu = s/\nu t = \frac{200 \text{ м}}{0,4 \frac{1}{\text{с}} \cdot 125 \text{ с}} = \frac{200 \text{ м}}{50} = 4 \text{ м}.$$

Жавоб: $\lambda = 4 \text{ м}$.

3-масала. Чўянда товушнинг тарқалиш тезлигини биринчи марта француз олими Био қуйидагича аниқлаган. Чўян қувурнинг бир учиди занг урилди, бунда қувурнинг иккинчи учидидаги кузатувчига иккига товуш: дастлаб чўян бўйлаб келган бир товуш, бир оз вақтдан кейин ҳаво бўйлаб келган иккинчи товуш эшитилди. Қувурнинг узунлиги $s = 930 \text{ м}$, етиб келган товушлар вақтининг фарқи $\Delta t = 2,5 \text{ с}$ бўлса, товушнинг чўянда тарқалиш тезлиги v топилсин. Товушнинг ҳавода тарқалиш тезлиги $v_0 = 340 \text{ м/с}$.

Берилган: $s = 930 \text{ м}$; $\Delta t = 2,5 \text{ с}$; $v_0 = 340 \text{ м/с}$.

Топиш керак: $v = ?$

Ечилиши. Товуш бир жинсли муҳитда тўғри чизиқли текис тарқалганлиги учун, унинг тарқалиш масофаси қуйидаги формуладан аниқланади:

$$s = vt.$$

Бундан товушнинг ҳавода тарқалиш вақти $t_0 = \frac{s}{v_0}$, чўянда тарқалиш вақти эса $t = \frac{s}{v}$ бўлади. Масала шартига кўра $\Delta t = t - t_0$ бўлганлиги учун:

$$\Delta t = t_0 - t = \frac{s}{v_0} - \frac{s}{v}$$

ёки

$$\frac{s}{v} = \frac{s}{v_0} - \Delta t = \frac{s - v_0 \Delta t}{v_0}.$$

Бундан товушнинг чўянда тарқалиш тезлиги v қуйидагига тенг бўлади:

$$v = v_0 \frac{s}{s - v_0 \Delta t} = 340 \text{ м/с} \frac{930 \text{ м}}{930 \text{ м} - 3.0 \text{ м/с} \cdot 2.5 \text{ с}} = 3952 \text{ м/с.}$$

Жавоб: $v = 3925 \text{ м/с.}$

4- масала. Товуш ҳаводан сувга ўтганида унинг тўлқин узунлигининг неча марта ўзгариши λ/λ_0 топилсин. Товушнинг ҳавода тарқалиш тезлиги $v_0 = 340 \text{ м/с}$, сувда тарқалиш тезлиги эса $v = 1450 \text{ м/с}$.

Берилган: $v_0 = 340 \text{ м/с}$; $v = 1450 \text{ м/с}$.

Топиш керак: $\lambda/\lambda_0 = ?$

Ечилиши: Маълумки тўлқинлар қандай муҳитда тарқалишдан қатъи назар, уларнинг частотаси ν ёки даври T ўзгармайди. Бинобарин, тўлқинларнинг ҳар хил муҳитда тарқалиш тезлиги v ва тўлқин узунлиги λ ўзгаради.

Тўлқиннинг узунлиги λ унинг бир даври T га тенг вақтда тарқалган масофасига тенг, яъни:

$$\lambda_0 = v_0 T \text{ ва } \lambda = v T.$$

Бундан изланаётган λ/λ_0 нисбат қуйидагига тенг бўлади:

$$\frac{\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{v_0} = \frac{1450 \text{ м/с}}{340 \text{ м/с}} = 4,26.$$

Жавоб: Сувда товуш тўлқинининг узунлиги ҳаводагидан $\lambda/\lambda_0 = 4,26$ марта катта экан.

Мустақил ечиш учун масалалар

56.1. Тўлқин $\nu = 4 \text{ Гц}$ частотада $v = 12 \text{ м/с}$ тезлик билан тарқалаётган бўлса, унинг тўлқин узунлиги λ ни ва бир-биридан $\Delta l = 2 \text{ м}$ масофада ётган нуқталарнинг фазалар фарқи $\Delta\varphi$ ни топинг.

$$\text{Жавоб: } \lambda = \frac{v}{\nu} = 3 \text{ м}; \Delta\varphi = 2\pi \cdot \frac{\nu}{v} \cdot \Delta l = 240^\circ.$$

56.2. Тебраниш манбаидан $s_1 = 10 \text{ м}$ ва $s_2 = 16 \text{ м}$ масофалардаги икки тебранишнинг фазалар фарқи $\Delta\varphi$ ни топинг. Тебраниш даври $T = 0,04 \text{ с}$ ва тарқалиш тезлиги $v = 200 \text{ м/с}$.

$$\text{Жавоб: } \Delta\varphi = 2\pi \frac{\Delta s}{\lambda} = 2\pi \frac{s_2 - s_1}{T v} = \pi = 180^\circ$$

56.3. Узунлиги $\lambda = 0,8 \text{ м}$ ва частотаси $\nu = 5 \text{ Гц}$ бўлган тўлқиннинг даври T ни ва тарқалиш тезлиги v ни топинг.

$$\text{Жавоб: } T = \frac{1}{\nu} = 0,2 \text{ с}; v = \lambda \cdot \nu = 4 \text{ м/с.}$$

56.4. Агар момақалди роқнинг биринчи шовқинини кузатувчи яшин чеқнагандан $t = 4,5 \text{ с}$ ўтгач эшитган бўлса, яшин

кузатувчидан қандай s масофада чақнаган? Товушнинг ҳавода тарқалиш тезлиги $v = 340$ м/с.

Жавоб: $s = vt = 1530$ м.

56.5. Темир қувурнинг бир учида урилган занг товуши унинг иккинчи учида турган кузатувчига ҳаводан қувур бўйлаб келганидан $\Delta t = 10$ с кейин етиб келган. Агар товушнинг ҳаводаги тезлиги $v_0 = 340$ м/с, темирдаги тезлиги эса $v = 4840$ м/с бўлса, қувурнинг узунлиги S ни топинг.

Жавоб: $s = \frac{v \cdot v_0}{v - v_0} \Delta t = 3657$ м.

56.6. Агар товушнинг акс садоси $t = 25$ с ўтгандан кейин эшитилган бўлса, товуш қайтган тўсиққача бўлган масофа s ни топинг. Товушнинг ҳаводаги тезлиги $v = 340$ м/с.

Жавоб: $s = \frac{v \cdot t}{2} = 4250$ м.

56.7. Маёқдан пароходга бир вақтда товушнинг иккита сигнали: биринчисини ҳаводан, иккинчини эса сувдан юборилди. Пароходдаги кузатувчи товушнинг биринчи сигналининикинчисидан $\Delta t = 4$ с кейин эшитди. Агар маёқдан пароходгача бўлган масофа $s = 1775$ м ва товушнинг ҳавода тарқалиш тезлиги $v_0 = 340$ м/с бўлса, товушнинг сувда тарқалиш тезлиги v ни топинг.

Жавоб: $v = v_0 \frac{s}{s - v_0 \Delta t} = 1454$ м/с.

56.8. Товушнинг сувда тарқалиш тезлиги $v = 1450$ м/с. Агар товушнинг частотаси $\nu = 725$ Гц бўлса, қарама-қарши фазаларда тебранаётган қўшни нуқталар бир-биридан қандай s масофада бўлади?

Жавоб: $s = \frac{v}{2\nu} = 1$ м.

56.9. Океаннинг чуқурлиги эхолот ёрдамида ўлчанган. Агар товуш пайдо бўлган пайтдан уни қабул қилиб олгунга қадар $t = 5$ с вақт ўтган бўлса, океаннинг чуқурлиги h ни топинг. Товушнинг океан сувида тарқалиш тезлигини $v = 1450$ м/с деб олинг.

Жавоб: $h = \frac{vt}{2} = 36.5$ м.

56.10. Проигрыватель пластинкасида „ля“ тонининг частотаси $\nu = 435$ Гц га мос келган, пластинканинг марказидан $r = 12$ см масофада ёзилган товуш тўлқинининг қўшни дўнгликлари орасидаги масофа l ни топинг ($l = \lambda$ бўлади). Пластинканинг айланиш частотаси $\nu_0 = 33$ айл/мин.

Жавоб: $l = 2\pi r \frac{\nu_0}{\nu} = 9.5 \cdot 10^{-4}$ м = 0,5 мм.

57-§. ЭЛЕКТРОМАГНИТ ТЕБРАНИШЛАР

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Агар тебраниш контури $C = 48$ мкФ сизимли конденсатор ва $L = 1,2$ мГн индуктивли ғалтакдан тузилган бўлса, контурнинг хусусий тебраниш частотаси ν топилин.

Берилган: $C = 48$ мкФ $= 48 \cdot 10^{-6}$ Ф; $L = 1,2$ мГн $= 12 \times 10^{-4}$ Гн.

Топиш керак: $\nu = ?$

Ечилиши: Контурнинг тебраниш частотаси ν тебраниш даври T нинг тескари ифодасига тенг:

$$\nu = \frac{1}{T},$$

бунда T —контурнинг хусусий тебраниш даври бўлиб, у Томсон формуласидан аниқланади (чунки контурнинг хусусий тебранишида ғалтакнинг актив қаршилиги ҳисобга олинмайди):

$$T = 2\pi\sqrt{LC}.$$

бунда L —ғалтакнинг индуктивлиги, C —конденсаторнинг электр сизими.

Давр T нинг ифодасини юқоридаги ўрнига қўйсак:

$$\begin{aligned} \nu &= \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{12 \cdot 10^{-4} \text{ Гн} \cdot 48 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}}} = \\ &= 6,63 \cdot 10^2 \frac{1}{\text{с}} = 663 \text{ Гц.} \end{aligned}$$

Жавоб: $\nu = 663$ Гц.

2-масала. Тебраниш контури $L = 2,5$ мГн индуктив ғалтак ва ясси конденсатордан тузилган. Конденсатор қопламаларининг юзаси $S = 4$ см² бўлиб, қопламалар оралиғи слюда ($\epsilon = 7$) билан тўлдирилган. Агар контурнинг хусусий тебраниш даври $T = 2 \cdot 10^{-6}$ с бўлса, пластинкалар оралиғи d ни топинг.

Берилган: $L = 2,5$ мГн $= 2,5 \cdot 10^{-3}$ Гн; $S = 4$ см² $= 4 \cdot 10^{-4}$ м²; $\epsilon = 7$; $T = 2 \cdot 10^{-6}$ с; $\epsilon_0 = 8185 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

Топиш керак: $d = ?$

Ечилиши: Индуктивлиги L бўлган ғалтак ва сизими C бўлган конденсатордан тузилган контурнинг хусусий тебраниш даври T Томсон формуласидан аниқланади:

$$T = 2\pi\sqrt{LC},$$

бунда конденсаторнинг сизими C қуйидагига тенг бўлади:

$$C = \frac{\epsilon^2}{4\pi^2 L}.$$

Шунингдек, ясси конденсаторнинг сифими қуйидаги формуладан ҳам аниқланади:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d},$$

бунада ϵ_0 —электр доимийси, ϵ —модданинг нисбий диэлектрик сингдирувчанлиги, S —қопламалар юзаси, d —пластинкалар орасидаги масофа.

Охириги икки тенгламани тенглаштириб, ундан изланаётган катталиқ d ни топамиз:

$$d = \frac{4\pi^2 \epsilon \epsilon_0 L C}{T^2} = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 7,8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{М}} \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}}{4 \cdot 10^{-12} \text{ с}^2} \times \\ \times \frac{4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2}{1} = 0,61 \text{ мм.}$$

Жавоб: $d = 0,61$ мм.

3-масала. Агар контур конденсаторининг қопламларидаги максимал заряд $q_{\text{max}} = 2,5 \cdot 10^{-8}$ Кл, контурдан ўтаётган максимал ток $I_{\text{max}} = 31,4$ мА бўлса, контурдаги электромагнит тебранишлар частотаси ν топилсин. Агар контурнинг индуктивлиги $L = 2 \cdot 10^{-7}$ Гн га тенг бўлса, контурдаги конденсаторнинг сифими C қандай бўлади?

Берилган: $q_{\text{max}} = 2,5 \cdot 10^{-8}$ Кл; $I_{\text{max}} = 31,4$ мА = $3,14 \cdot 10^{-2}$ А; $L = 2 \cdot 10^{-7}$ Гн.

Топиш керак: $\nu = ?$ $C = ?$

Ечилиши: Контурдаги электромагнит тебраниш частотаси ν тебраниш даври T нинг тескари ифодасига тенг бўлиб, Томсон формуласидан қуйидагига тенгдир:

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}. \quad (1)$$

бунада L —галтакнинг индуктивлиги, C —конденсаторнинг электр сифими. Тебраниш частотаси ν ни контурдаги энергиянинг сақланиш ва айланиш қонунига биноан конденсатор қопламларидаги заряд ва контурдаги ток орқали ифодалаш мумкин. Тебраниш контурида сўнмайдиган электромагнит тебраниш ҳосил қилинса конденсатор қопламлари орасидаги электр май-

доннинг максимал энергияси $W_{\text{эл.макс}} = \frac{q_{\text{max}}^2}{2C}$, галтакдаги маг-

нит майдоннинг максимал энергияси $W_{\text{маг.макс}} = \frac{LI_{\text{max}}^2}{2}$ бўлиб,

контурдаги электромагнит тебранишларнинг тўла энергияси W қуйидагига тенг бўлади:

$$W_{\text{эл.макс}} = W_{\text{маг.макс}} = W$$

ёки

$$\frac{q_{\text{max}}^2}{2C} = \frac{LI_{\text{max}}^2}{2}$$

Бундан $LC = \left(\frac{q_{\max}}{I_{\max}}\right)^2$ ёки $\sqrt{LC} = \frac{q_{\max}}{I_{\max}}$. Буни (1) га қўйилса:

$$\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{I_{\max}}{2\pi q_{\max}} = \frac{3,14 \cdot 10^{-2} \text{ А}}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}} = 2 \cdot 10^5 \text{ 1/с} = 2 \cdot 10^5 \text{ Гц} = 200 \text{ кГц.}$$

Юқоридаги энергиянинг сақланиш ва айланиш қонунига ёзилган ифодадан конденсаторнинг сизими қуйидагига тенг бўлади:

$$C = \frac{q_{\max}^2}{LI_{\max}^2} = \frac{2,5^2 \cdot 10^{-16} \text{ Кл}^2}{2 \cdot 10^{-7} \text{ Гн} \cdot 3,14^2 \cdot 10^{-2} \text{ А}^2} = 3,2 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} = 3,2 \text{ мкФ.}$$

Жавоб: $\nu = 200 \text{ кГц}$; $C = 3,2 \text{ мкФ}$.

Мустақил ечиш учун масалалар

57.1. Тебраниш контури индуктивлиги $L = 1,5 \text{ мГн}$ бўлган ғалтакдан ва сизими $C = 450 \text{ пФ}$ бўлган конденсатордан тузилган бўлса, контурдаги электромагнит тебранишнинг даври T ни топинг.

Жавоб: $T = 2\pi\sqrt{LC} = 5,2 \cdot 10^{-6} \text{ с.}$

57.2. Сизими $C = 2 \text{ мкФ}$ ва индуктивлиги $L = 0,8 \text{ мГн}$ бўлган контурдаги электромагнит тебранишнинг хусусий тебраниш даври T ни ва частотаси ν ни топинг.

Жавоб: $T = 2\pi\sqrt{LC} = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ с}$; $\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 4 \cdot 10^3 \text{ Гц} = 4 \text{ кГц.}$

57.3. Тебраниш контури $C = 2,2 \text{ мкФ}$ сизимли конденсатор ва ғалтакдан тузилган. Агар контурдаги электромагнит тебранишнинг хусусий частотаси $\nu = 420 \text{ кГц}$ бўлса, ғалтакнинг индуктивлиги L ни топинг.

Жавоб: $L = \frac{1}{4\pi^2\nu^2 C} = 6,5 \cdot 10^8 \text{ Гн} = 6,5 \text{ мкГн.}$

57.4. Тебраниш контурига уланган $C = 30 \text{ пФ}$ сизимли конденсатор қисқичларидаги эффектив кучланиш $U_{\text{эфф}} = 100 \text{ В}$ бўлса, контурдаги электр ва магнит майдоннинг максимал энергия қийматлари $W_{\text{эл. макс}}$ ва $W_{\text{маг. макс}}$ ни топинг.

Жавоб: $W_{\text{эл. макс}} = W_{\text{маг. макс}} = \frac{CU_0^2}{2} = \frac{C(\sqrt{2}U_{\text{эфф}})^2}{2} = CU_{\text{эфф}}^2 = 3 \cdot 10^{-7} \text{ Ж.}$

57.5. Тебраниш контуридаги токнинг максимал қиймати $I_{\max} = 80 \text{ мА}$. Агар контурдаги конденсаторнинг электр сизими $C = 500 \text{ пФ}$, индуктивлиги $L = 2 \text{ мГн}$ ва актив қаршилиги $R = 0$

бўлса, конденсатор қисқичларидаги максимал кучланиш U_{\max} ни топинг.

$$\text{Жавоб: } U_{\max} = I_{\max} \sqrt{\frac{L}{C}} = 160 \text{ В,}$$

57.6 Тебраниш контури индуктивлиги $L = 20$ мГн бўлган ғалтакдан ва сиғими $C = 0,5$ мкФ бўлган конденсатордан тузилган. Агар конденсатор қисқичларидаги максимал кучланиш $U_{\max} = 120$ В бўлса, конденсатор қопламаларидаги максимал заряд q_{\max} ва контурдаги максимал ток I_{\max} ни топинг. Тебранишни сўнмайдиغان деб ҳисобланг.

$$\text{Жавоб: } q_{\max} = CU_{\max} = 6 \cdot 10^{-7} \text{ Кл; } I_{\max} = U_{\max} \sqrt{\frac{C}{L}} = 0,6 \text{ А.}$$

57.7. Тебраниш контуридаги конденсаторнинг сиғими $C = 2$ мкФ, унинг қисқичларидаги максимал кучланиш эса $U_{\max} = 50$ В бўлган. Ғалтакдаги магнит майдоннинг максимал энергияси $W_{\text{маг. макс}}$ ни ва конденсатор қисқичларидаги кучланиш $U = 30$ В бўлган моментдаги магнит майдоннинг энергияси $W_{\text{маг}}$ ни топинг.

$$\text{Жавоб: } W_{\text{маг. макс}} = W_{\text{эл. макс}} = \frac{CU_{\max}^2}{2} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ Ж} = 2,5 \text{ мЖ;}$$

$$W_{\text{маг.}} = W_{\text{маг. макс}} - W_{\text{эл.}} = \frac{CU_{\max}^2}{2} - \frac{CU^2}{2} = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ Ж} = 1,6 \text{ мЖ.}$$

57.8. Тебраниш контури индуктивлиги $L = 3$ мГн бўлган ғалтак ва ясси конденсатордан тузилган. Ясси конденсатор радиуси $r = 1,2$ см бўлган ва бир-биридан $d = 0,3$ мм масофада жойлашган доира шаклидаги иккита қопламадан иборат. Агар контурдаги электромагнит тебранишнинг частотаси $\nu = 400$ кГц бўлса, конденсатор қопламалари орасига тўлдирилган модданинг нисбий диэлектрик сингдирувчанлиги ϵ ни топинг.

$$\text{Жавоб: } \epsilon = \frac{d}{4\pi^2 \epsilon_0 \nu^2 r^2 L} = 4.$$

57.9. Тебраниш контури индуктивлиги $L = 0,3$ мГн бўлган ғалтак ва кетма-кет уланган $C_1 = C_2 = 6$ мкФ сиғимли конденсаторлардан тузилган бўлса, контурдаги хусусий электромагнит тебранишнинг даври T ни топинг. Агар контурдаги максимал ток $I_{\max} = 0,6$ А бўлса, ҳар бир конденсатор қопламаларидаги максимал кучланиш U_{\max} ва максимал заряд q_{\max} нимага тенг бўлади?

$$\text{Жавоб: } T = 2\pi \sqrt{L \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}} = 18,84 \cdot 10^{-5} \text{ с;}$$

$$U_{\max} = I_{\max} \sqrt{\frac{L}{C_{\text{к.к}}}} = I_{\max} \sqrt{L \frac{C_1 + C_2}{C_1 \cdot C_2}} = 6 \text{ В;}$$

$$q_{\max} = C_{\text{к.к}} \cdot U_{\max} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \cdot U_{\max} = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ Кл.}$$

57.10. $C_1 = 4$ мкФ сифимли конденсатор уланганда контурдаги электромагнит тебранишнинг частотаси $\nu_1 = 500$ кГц булган. C_1 сифимли конденсатор ўрнига қандай C_2 сифимли конденсатор уланганда контурдаги электромагнит тебранишнинг частотаси $\nu_2 = 2000$ кГц бўлиб қолади? Контурнинг қаршилигини ҳисобга олманг.

Жавоб: $C_2 = C_1 \left(\frac{\nu_1}{\nu_2} \right)^2 = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ Ф} = 0,25 \text{ мкФ}.$

58-§. ЭЛЕКТРОМАГНИТ ТЎЛҚИНЛАР

Масалалар ечиш намуналари

1- масала. Частотаси $\nu = 75$ МГц бўлган электромагнит тўлқиннинг глицеринда тарқалиш тезлиги v ва тўлқин узунлиги λ топилсин. Глицериннинг нисбий диэлектрик сингдирувчанлиги $\epsilon = 39$, электромагнит тўлқиннинг вакуумда тарқалиш тезлиги $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Берилган: $\nu = 75$ МГц $= 0,75 \cdot 10^8$ Гц $= 0,75 \cdot 10^8$ 1/с; $\epsilon = 39$, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Топиш керак: $v = ?$ $\lambda = ?$

Ечилиши: Электромагнит тўлқиннинг диэлектрик муҳитда тарқалиш тезлиги v унинг вакуумда тарқалиш тезлиги c билан Максвелл назариясига биноан қуйидагича боғланган:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}}$$

бунда ϵ — муҳитнинг нисбий диэлектрик сингдирувчанлиги. Масалада берилган катталикларнинг сон қийматларини ўрнига қўйиб, ҳисоблаб чиқамиз:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{\sqrt{39}} = 0,43 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

Маълумки ҳар қандай тўлқин сингари электромагнит тўлқин ҳам бирор муҳитда тарқалганда унинг частотаси ν ўзгармас қолиб, унинг тарқалиш тезлиги v ва тўлқин узунлиги λ ўзгаради. У ҳолда глицеринда тарқалаётган электромагнит тўлқиннинг узунлиги λ ни қуйидаги формуладан аниқлаб, ҳисоблаб чиқамиз:

$$\lambda = \frac{v}{\nu} = \frac{0,43 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{0,75 \cdot 10^8 \text{ 1/с}} = 0,57 \text{ м} = 57 \text{ см}.$$

Жавоб: $v = 0,43 \cdot 10^8$ м/с; $\lambda = 57$ см.

2- масала. Приёмникнинг тебраниш контури $C = 200$ пФ сифимли ясси конденсатор ва индуктивлиги $L = 5$ мГн бўлган ғалтакдан тузилган. Шу контур қандай λ тўлқин узунликка мослашган? Агар конденсатор қопламлари оралиғи парафин шимдирилган қоғоз билан тўлдирилса, контур қандай λ_1 тўлқин узунлигига мослашган?

қин узунлигига мослашади? Парафиннинг нисбий диэлектрик сингдирувчанлиги $\epsilon = 2$, электромагнит тўлқиннинг тарқалиш тезлиги $v = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Берилган: $C = 200$ пФ $= 2 \cdot 10^{-10}$ Ф; $L = 5$ мГн $= 5 \cdot 10^{-4}$ Гн; $\epsilon = 2$; $v = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Топиш керак: $\lambda = ?$ $\lambda_1 = ?$

Ечилиши. Электромагнит тўлқиннинг тарқалиш тезлиги v тўлқин узунлиги λ ва даври T билан қуйидаги боғланишга эга:

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

бундан

$$\lambda = vT. \quad (1)$$

Электромагнит тўлқиннинг даври T контурнинг тебраниш даврига тенг бўлганлиги учун, у Томсон формуласидан аниқланади:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}, \quad (2)$$

бунда L — контурдаги ғалтакнинг индуктивлиги, C — конденсаторнинг электр сиғими. (2) ни (1) га қўйилса, қуйидаги келиб чиқади: $\lambda = vT = 2\pi v \sqrt{LC} = 2 \cdot 3,14 \cdot 3 \cdot 10^8$ м/с \times

$$\times \sqrt{5 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \cdot 2 \cdot 10^{-10} \text{ Ф}} = 1874 \text{ м.}$$

Агар конденсатор қопламларининг оралиғи нисбий диэлектрик сингдирувчанлиги ϵ бўлган модда билан тўлдирилса унинг сиғими ϵ марта ортади, яъни: $C_1 = \epsilon C$. У ҳолда контур мослашган электромагнит тўлқиннинг узунлиги қуйидагига тенг бўлади:

$$\lambda_1 = 2\pi v \sqrt{LC_1} = 2\pi v \sqrt{\epsilon LC} = 2\pi v \sqrt{LC} \cdot \sqrt{\epsilon} = \lambda \sqrt{\epsilon}.$$

Масалада берилган катталикларни ўрнига қўйиб, ҳисоблаб чиқамиз:

$$\lambda_1 = \lambda \sqrt{\epsilon} = 1874 \text{ м} \cdot \sqrt{2} = 2656 \text{ м.}$$

Жавоб: $\lambda = 1874$ м, $\lambda_1 = 2656$ м.

3-масала. Радиолакатор $\lambda = 20$ см ли тўлқин узунликда ишлаб ҳар секундда $n = 5000$ 1/с импульс чиқаради. Агар импульснинг давомийлиги $\tau = 2$ мкс бўлса, ҳар бир импульсдаги тебранишлар сони N ва радиолокаторнинг таъсир масофаси s ни топинг. Электромагнит тўлқиннинг тарқалиш тезлиги $v = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Берилган: $\lambda = 20$ см $= 0,2$ м; $n = 5000$ 1/с; $\tau = 2$ мкс $= 2 \times 10^{-6}$ с; $v = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Топиш керак: $N = ?$ $s = ?$

Ечилиши: Импульснинг ичидаги тебранишлар сони N импульснинг доимийлиги τ ни электромагнит тўлқиннинг даври

$T = \frac{\lambda}{v}$ га бўлган нисбатига тенгдир:

$$N = \frac{\tau}{T} = \frac{\tau}{\lambda/v} = \frac{v\tau}{\lambda}$$

Бунда λ — электромагнит тўлқиннинг тўлқин узунлиги, v — эса унинг тарқалиш тезлиги. Масала шартида берилган катталикларнинг сон қийматларини ўрнига қўйиб, ҳисоблаб чиқармиз:

$$N = \frac{v \cdot \tau}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \cdot 2 \cdot 10^{-6} \text{ с}}{0,2 \text{ м}} = 3000.$$

Локаторнинг нишонгача бўлган таъсир масофаси s электромагнит тўлқиннинг импульслари орасидаги вақт $T_0 = \frac{1}{n}$ дан икки марта кичик $t = \frac{T_0}{2}$ вақтда тарқалган масофасига тенгдир:

$$s = vt = v \frac{T_0}{2} = \frac{v}{2n} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{2 \cdot 5000 \text{ 1/с}} = 3 \cdot 10^4 \text{ м} = 30 \text{ км.}$$

Жавоб: $N = 3000$, $s = 30 \text{ км.}$

Мустақил ечиш учун масалалар

58.1. $\nu = 0,4$ МГц частотада ишлаётган радиостанция тарқатаётган электромагнит тўлқиннинг узунлиги λ ни топинг. Электромагнит тўлқиннинг тарқалиш тезлиги $v = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Жавоб: $\lambda = \frac{v}{\nu} = 750 \text{ м.}$

58.2. Тебраниш контуридан нурланган электромагнит тўлқиннинг ҳаводаги тўлқин узунлиги $\lambda = 300$ м бўлган. Агар контурдаги ғалтак индуктивлиги $L = 2,5$ мГн бўлса, унга уланган конденсаторнинг сифими C ни топинг. Контурнинг актив қаршилигини $R = 0$ деб олинг. Электромагнит тўлқиннинг ҳавода тарқалиш тезлиги $v = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Жавоб: $C = \frac{\lambda^2}{4\pi^2 v^2 L} = 10 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} = 10 \text{ пФ.}$

58.3. Кемалар ҳалокатга учраганда сигналлар халқаро келишувга мувофиқ $\lambda = 600$ м тўлқин узунликда берилади. Бу сигналнинг частотаси ν ни топинг. Электромагнит тўлқиннинг тарқалиш тезлиги $v = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Жавоб: $\nu = \frac{v}{\lambda} = 5 \cdot 10^5 \text{ Гц} = 0,5 \text{ МГц.}$

58.4. Агар приёмникнинг қабул контуридаги ғалтакнинг индуктивлиги $L = 1,5$ мГн бўлиб, конденсаторнинг сифими $C_1 = 75$ пФ дан $C_2 = 650$ пФ гача ўзгарса, приёмникнинг ишлаш диапазонининг тўлқин узунликлари λ_1 ва λ_2 ни топинг. Кон-

турнинг актив қаршилигини ҳисобга олманг. Электромагнит тўлқиннинг тарқалиш тезлиги $v = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Жавоб: $\lambda_1 = 2\pi v \sqrt{LC_1} = 632$ м; $\lambda_2 = 2\pi v \sqrt{LC_2} = 1860$ м.

58.5. Передатчиги $\lambda = 25$ м тўлқин узунликда ишлайдиган радиостанция частотаси $\nu_T = 400$ Гц бўлган товуш сигналинини узатса, товуш тебранишининг бир даврига жойлашган юқори частотали электромагнит тебранишлар сони n ни топинг. Электромагнит тўлқиннинг тарқалиш тезлиги $v = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Жавоб: $n = \frac{\lambda_T}{\lambda} = \frac{v}{\lambda \nu_T} = 3 \cdot 10^4$.

58.6. Радиолокатор ҳар секундда $n = 4000$ 1/с импульс юборади. Унинг таъсир масофаси s ни топилсин. Электромагнит тўлқиннинг тарқалиш тезлиги $v = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Жавоб: $t = \frac{1}{n} = \frac{2s}{v} \Rightarrow s = \frac{v}{2n} = 37,5 \cdot 10^3$ м = 37,5 км.

58.7. Агар радиолокаторнинг таъсир масофаси $s = 25$ км бўлса, импульснинг максимал частотаси n ни топинг. Электромагнит тўлқиннинг тарқалиш тезлиги $v = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Жавоб: $n = \frac{v}{2s} = 6000 \frac{1}{с}$.

58.8. Агар радиолокаторнинг электрон нур трубкасида раз-вертка (ёйилиш) вақти $\tau = 1,5$ мс бўлса, унинг таъсир масофаси s ни топинг. Электромагнит тўлқиннинг тарқалиш тезлиги $v = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Жавоб: $2s = v\tau \Rightarrow s = \frac{v\tau}{2} = 225 \cdot 10^3$ м = 225 км.

58.9. Телевизион эшиттиришни элтувчи ультрақисқа тўлқиннинг частотаси $\nu = 50$ мГц бўлиб, $t = 40$ мс да тасвирнинг $N = 50000$ элементи узатилади. Импульсдан иборат бўлган ҳар бир тасвир элементига жойлашган ультрақисқа тўлқинлар сони n ни топинг.

Жавоб: $n = \frac{\tau}{T} = \frac{t/N}{1/\nu} = \frac{\nu t}{N} = 40$.

58.10. Радиолокатор $\lambda = 15$ см ли тўлқин узунликда ишлаб, ҳар бир секундда $n = 4000$ 1/с импульс чиқаради. Агар импульснинг давомийлиги $\tau = 0,2$ мкс бўлса, ҳар бир импульсда жойлашган ультрақисқа тўлқинлар сони N ни ва радиолокаторнинг таъсир масофаси s ни топинг. Электромагнит тўлқиннинг тарқалиш тезлиги $v = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Жавоб: $N = \frac{\tau}{T} = \frac{\tau}{\lambda/\nu} = \frac{\nu\tau}{\lambda} = 40$; $s = \frac{v}{2n} = 37,5 \cdot 10^3$ м = 37,5 км.

XI боб. ЎЗГАРУВЧАН ТОК ФИЗИКАСИ АСОСЛАРИ

- Ўзгарувчан токнинг ЭЮК синуслар функциясига биноан ўзгаради:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 \sin \omega t, \quad (\text{X.1})$$

бунда \mathcal{E}_0 — ўзгарувчан ЭЮК нинг максимал (амплитуда) қиймати, $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$ — ўзгарувчан токнинг циклик частотаси бўлиб, бу ердаги ν — токнинг частотаси ва T — токнинг даври.

- R актив қаршиликли ўзгарувчан ток занжиридан ўтаётган токнинг кучи Ом қонунига биноан қуйидагига тенг бўлади:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{\mathcal{E}_0}{R} \sin \omega t = I_0 \sin \omega t, \quad (\text{X.2})$$

бунда $I_0 = \frac{\mathcal{E}_0}{R}$ максимал ток кучи бўлиб, *ток кучининг амплитуда қиймати* деб аталади.

- Ўзгарувчан ток кучининг $I_{\text{эфф}}$ эффе́ктив (таъсир) қиймати I_0 амплитуда қийматидан $\sqrt{2}$ марта кичик бўлади:

$$I_{\text{эфф}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}. \quad (\text{X.3})$$

- Ўзгарувчан ток кучланишининг $U_{\text{эфф}}$ эффе́ктив қиймати ҳам U_0 амплитуда қийматидан $\sqrt{2}$ марта кичик бўлади, яъни:

$$U_{\text{эфф}} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}. \quad (\text{X.4})$$

- Ўзгарувчан ток занжирида L индуктивлик мавжуд бўлганда вужудга келадиган X_L реактив қаршилик *индуктив қаршилик* деб аталиб, у токнинг циклик частотаси ω га ва индуктивлик L га пропорционалдир, яъни:

$$X_L = \omega L. \quad (\text{X.5})$$

- Ўзгарувчан ток занжирида C электр сифим мавжуд бўлганда вужудга келадиган X_C реактив қаршилик *сифим қаршилик* деб аталиб, у токнинг циклик частотаси ω га ва сифим C га тескари пропорционалдир:

$$X_C = \frac{1}{\omega C}. \quad (\text{X.6})$$

- Ўзгарувчан ток занжири энг умумий ҳолда R актив қаршиликли ўтказгич, L индуктивликли ғалтак, C сифимли конденсатор ва ток манбаидан иборат бўлганда, учта қаршилик R , X_L ва X_C кетма-кет уланган бўлиб, *занжирнинг тўла қаршилиги* Z қуйидаги формуладан аниқланади:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}. \quad (\text{X.7})$$

● Ом қонунига биноан, ўзгарувчан ток занжиридаги ток кучининг амплитуда қиймати I_0 ва эффе́ктив қиймати $I_{\text{эфф}}$ қуйидагига тенг бўлади:

$$I_0 = \frac{U_0}{Z} = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}},$$

$$I_{\text{эфф}} = \frac{U_{\text{эфф}}}{Z} = \frac{U_{\text{эфф}}}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}. \quad (\text{X.8})$$

● Ҳисоблашларнинг кўрсатишича, ўзгарувчан ток занжиридаги ажралган *актив қувват* N қуйидаги формуладан аниқланади:

$$N = I_{\text{эфф}} \cdot U_{\text{эфф}} \cdot \cos \varphi = \frac{I_0 U_0}{2} \cos \varphi, \quad (\text{X.9})$$

бунда $\cos \varphi$ кўпайтувчи *қувват коэффициентини* деб аталади.

● Ўзгарувчан ток занжирида ажралган максимал ($\cos \varphi = 1$) қувват *тўла қувват* деб аталиб, у қуйидагига тенг:

$$S = U_{\text{эфф}} I_{\text{эфф}}, \quad (\text{X.10})$$

● Жоуль (Ж) ларда ўлчанадиган актив қувват N дан фарқли равишда S тўла қувват вольт-ампер ($\text{В} \cdot \text{А}$) ларда ўлчанади.

● Трансформаторнинг *трансформациялаш коэффициентини* k қуйидагига тенг:

$$k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{n_1}{n_2}, \quad (\text{X.11})$$

бунда U_1, I_1, n_1 — мос равишда бирламчи ўрамдаги кучланиш, токнинг кучи, ўрамлар сони; U_2, I_2, n_2 — мос равишда иккиламчи ўрамдаги кучланиш, токнинг кучи, ўрамлар сони. Агар $k > 1$ бўлса, трансформатор пасайтирувчи ($U_2 < U_1$), $k < 1$ бўлса, кучайтирувчи ($U_2 > U_1$) трансформатор бўлади.

59-§. ЎЗГАРУВЧАН ТОК ҚОНУНЛАРИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Актив қаршилиги ҳисобга олмаса бўладиган даражада кичик бўлган ғалтак $\nu = 50$ Гц частотали ўзгарувчан ток тармоғига уланган. Агар ғалтак учларига уланган вольтметр $U_{\text{эфф}} = 220$ В кучланишни, амперметр эса $I_{\text{эфф}} = 5$ А токни кўрсатса, ғалтакнинг индуктивлиги L топилсин.

Берилган: $U_{\text{эфф}} = 220$ В, $I_{\text{эфф}} = 5$ А, $R = 0$, $\nu = 50$ Гц (1/с).

Топиш керак: $L = ?$

Ечилиши: Занжирнинг ғалтакдан иборат қисмининг қаршилиги, масаланинг шартига кўра, фақат индуктив қаршилиқ-

дан иборат. Шунинг учун $Z = X_L = \omega L$ бўлади, бу ерда $\omega = 2\pi\nu$ токнинг циклик (доиравий) частотаси, L — ғалтакнинг индуктивлиги. Ом қонунига биноан:

$$I_{\text{эфф}} = \frac{U_{\text{эфф}}}{Z} = \frac{U_{\text{эфф}}}{\omega L} = \frac{U_{\text{эфф}}}{2\pi\nu L}.$$

Бундан ғалтакнинг индуктивлиги L ни аниқлаймиз:

$$L = \frac{U_{\text{эфф}}}{2\pi\nu I_{\text{эфф}}} = \frac{220 \text{ В}}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \text{ 1/с} \cdot 5 \text{ А}} = 0,14 \text{ Гн}.$$

Жавоб: $L = 0,14 \text{ Гн}$.

2- масала. Конденсатор $U_{\text{эфф}} = 220 \text{ В}$ кучланишли стандарт, ($\nu = 50 \text{ Гц}$) частотали ўзгарувчан ток тармоғига уланган. Агар конденсатор тармоғига уланган амперметр $I_{\text{эфф}} = 4 \text{ А}$ токни кўрсатса, конденсаторнинг сиғими C топилсин.

Берилган: $U_{\text{эфф}} = 220 \text{ В}$, $I_{\text{эфф}} = 4 \text{ А}$, $\nu = 50 \text{ Гц}$ (1/с).

Топиш керак: $C = ?$

Ечилиши: Сиғим қаршилик X_C нинг катталиги занжирдаги конденсатор сиғими C ни токнинг циклик частотаси ω га кўпайтмасининг тескари ифодасига тенг:

$$X_C = \frac{1}{\omega C}. \quad (1)$$

Бу ерда циклик (доиравий) частота $\omega = 2\pi\nu$ ва Ом қонунига биноан қаршилик $X_C = \frac{U_{\text{эфф}}}{I_{\text{эфф}}}$ бўлганлиги учун (1) формулани қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$\frac{U_{\text{эфф}}}{I_{\text{эфф}}} = \frac{1}{2\pi\nu C}.$$

Бундан излашаётган сиғим C ни аниқлаймиз:

$$C = \frac{I_{\text{эфф}}}{2\pi\nu U_{\text{эфф}}} = \frac{4 \text{ А}}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \text{ 1/с} \cdot 220 \text{ В}} = 57,9 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Кл}}{\text{В}} = 57,9 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} = 57,9 \text{ мкФ}.$$

Жавоб: $C = 57,9 \text{ мкФ}$.

3- масала. $C = 200 \text{ мкФ}$ сиғимли конденсатор, актив қаршилиги $R = 12 \text{ Ом}$, индуктивлиги $L = 40 \text{ мГн}$ бўлган ғалтак $U_{\text{эфф}} = 220 \text{ В}$ кучланишли ва $\nu = 50 \text{ Гц}$ частотали ўзгарувчан ток тармоғига кетма-кет уланган. Занжирдаги токнинг кучи $I_{\text{эфф}}$ ва актив қуввати N , конденсаторнинг сиғим қаршилиги X_C ва ғалтакнинг индуктив қаршилиги X_L ҳамда улардаги кучланиш тушишлари U_C ва U_L топилсин.

Берилган: $U_{\text{эфф}} = 220 \text{ В}$, $\nu = 50 \text{ Гц}$ ($1/\text{с}$), $C = 2 \cdot 10^{-4} \text{ Ф}$, $R = 12 \text{ Ом}$, $L = 4 \cdot 10^{-2} \text{ Гн}$.

Топиш керак: $I_{\text{эфф}} = ?$ $N = ?$ $X_C = ?$ $U_C = ?$ $U_L = ?$ $X_L = ?$

Ечилиши: Конденсаторнинг сизим қаршилиги X_C ни қуйидаги формуладан ҳисоблаб топамиз:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi\nu C} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \text{ 1/с} \cdot 2 \cdot 10^{-4} \text{ Ф}} = 15,9 \text{ Ом.}$$

Ғалтакнинг индуктив қаршилиги X_L ни қуйидаги формуладан ҳисоблаб топамиз:

$$X_L = \omega L = 2\pi\nu L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \text{ 1/с} \cdot 4 \cdot 10^{-2} \text{ Гн} = 12,56 \text{ Ом} \approx 12,6 \text{ Ом.}$$

Занжирнинг тўла қаршилиги:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{12^2 + (12,6 - 15,9)^2} \text{ Ом} = 12,4 \text{ Ом.}$$

Занжирдаги токнинг кучи

$$I_{\text{эфф}} = \frac{U_{\text{эфф}}}{R} = \frac{220 \text{ В}}{12,4 \text{ Ом}} = 17,7 \text{ А.}$$

Конденсатордаги кучланиш тушиши:

$$U_C = I_{\text{эфф}} X_C = 17,7 \text{ А} \cdot 15,9 \text{ Ом} = 281,43 \text{ В} \approx 281 \text{ В.}$$

Ғалтакдаги кучланиш тушиши:

$$U_L = I_{\text{эфф}} \cdot X_L = 17,7 \text{ А} \cdot 12,6 \text{ Ом} = 241 \text{ В.}$$

Занжирнинг актив қуввати:

$$N = I_{\text{эфф}}^2 \cdot R = 17,7^2 \text{ А}^2 \cdot 12 \text{ Ом} = 3760 \text{ Вт} = 3,76 \text{ кВт.}$$

Жавоб: $X_C = 15,9 \text{ Ом}$ га, ғалтакнинг индуктив қаршилиги $X_L = 12,6 \text{ Ом}$, занжирдаги токнинг кучи $I_{\text{эфф}} = 17,7 \text{ А}$ га ва актив қуввати $N = 3,76 \text{ кВт}$ га, конденсатордаги кучланишнинг тушуви $U_C = 281 \text{ В}$ га ва ғалтакдаги кучланишнинг тушуви $U_L = 241 \text{ В}$ га тен: экан.

4- масала. Стандарт ($\nu = 50 \text{ Гц}$) частотали ва $U_{\text{эфф}} = 120 \text{ В}$ кучланишли ўзгарувчан ток тармоғига кетма-кет қилиб $R = 3 \text{ Ом}$ ли қаршилик индуктивлиги $L = 12,7 \text{ мГн}$ бўлган ғалтак ва $C = 394 \text{ мкФ}$ сизимли конденсатор уланган бўлса, ғалтакнинг индуктив қаршилиги X_L , конденсаторнинг сизим қаршилиги X_C , тўла қаршилик Z ҳамда занжирдаги токнинг актив қуввати $N_{\text{акт}}$ ва тўла қуввати N топилсин.

Берилган: $U_{\text{эфф}} = 120 \text{ В}$, $\nu = 50 \text{ Гц}$, $R = 3 \text{ Ом}$, $L = 12,7 \times 10^{-3} \text{ Гн}$, $C = 394 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$.

Топиш керак: $X_L = ?$ $X_C = ?$ $Z = ?$ $N_{\text{акт}} = ?$ $N = ?$

Ечилиши: Ғалтакнинг индуктив қаршилиги X_L токнинг циклик частотаси $\omega = 2\pi\nu$ га (бунда ν — токнинг частотаси) ва индуктивлиги L га пропорционалдир:

$$X_L = \omega L = 2\pi\nu L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \text{ 1/с} \cdot 12,7 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} = 4 \text{ Ом.}$$

Конденсаторнинг сигим қаршилиги X_C эса токнинг циклик частотаси $\omega = 2\pi\nu$ га ва сигим C га тескари пропорционалдир:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi\nu C} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \text{ 1/с} \cdot 394 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}} = 8 \text{ Ом.}$$

Занжирнинг тўла қаршилиги Z ни қуйидаги формуладан аниқлаймиз:

$$\begin{aligned} Z &= \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{9 \text{ Ом}^2 + (4 - 8)^2 \text{ Ом}^2} = \\ &= \sqrt{25 \text{ Ом}^2} = 5 \text{ Ом.} \end{aligned}$$

Занжирдаги токнинг актив қуввати $N_{\text{акт}}$ қуйидаги формуладан аниқланади:

$$N_{\text{акт}} = I_{\text{эфф}} \cdot U_{\text{эфф}} \cdot \cos \varphi,$$

бунда $I_{\text{эфф}}$ — ток кучининг таъсир этувчи (эффektiv) қиймати, $U_{\text{эфф}}$ — кучланишнинг таъсир этувчи (эффektiv) қиймати, $\cos \varphi$ — қувват коэффиценти, у қуйидаги формуладан аниқланади:

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{3 \text{ Ом}}{5 \text{ Ом}} = 0,6.$$

Токнинг эффektiv қиймати $I_{\text{эфф}}$ ни эса ушбу формуладан ҳисоблаб топамиз:

$$I_{\text{эфф}} = \frac{U_{\text{эфф}}}{Z} = \frac{120 \text{ В}}{5 \text{ Ом}} = 24 \text{ А.}$$

У ҳолда занжирдаги токнинг актив қуввати қуйидагига тенг бўлади:

$$N_{\text{акт}} = I_{\text{эфф}} \cdot U_{\text{эфф}} \cdot \cos \varphi = 24 \text{ А} \cdot 120 \text{ В} \cdot 0,6 = 1728 \text{ Вт.}$$

Занжирдаги ўзгарувчан токнинг тўла қуввати N ток кучи ва кучланишнинг эффektiv қийматларида генераторнинг занжирга бера оладиган энг катта қувватига, яъни $\cos \varphi = 1$ булган актив қувватга тенгдир:

$$N = U_{\text{эфф}} \cdot I_{\text{эфф}}.$$

Актив қуввадан фарқли ўлароқ, тўла қувват N вольт-амперлар ($B \cdot A$) да ўлчанади.

Сон қийматларни ўрнига қўйиб, тўла қувватни ҳисоблаб чиқамиз:

$$S = U_{\text{эфф}} \cdot I_{\text{эфф}} = 120 \text{ В} \cdot 24 \text{ А} = 2880 \text{ В} \cdot \text{А.}$$

Жавоб: $X_L = 4 \text{ Ом}$, $X_C = 8 \text{ Ом}$, $Z = 5 \text{ Ом}$, $N_{\text{акт}} = 1728 \text{ Вт}$, $s = 2880 \text{ В} \cdot \text{А}$.

Мустақил ечиш учун масалалар

59.1. Агар занжирга уланган амперметр $I_{\text{эфф}} = 2$ А ни, вольтметр эса $U_{\text{эфф}} = 220$ В ни кўрсатаётган бўлса, занжирдаги ток кучининг ва кучланишнинг амплитуда қийматлари I_0 ва U_0 ни топинг.

Жавоб: $I_0 = \sqrt{2} I_{\text{эфф}} = 2,82$ А; $U_0 = \sqrt{2} U_{\text{эфф}} = 310$ В.

59.2. Конденсаторнинг тешилиш кучланиши $U_{\text{теш}} = 450$ В. Конденсаторни кучланиши $U_{\text{эфф}} = 380$ В бўлган занжирга улаш мумкинми?

Жавоб: $U_0 = \sqrt{2} U_{\text{эфф}} = 536$ В $>$ $U_{\text{теш}} = 450$ В — улаш мумкин эмас.

59.3. Индуктивлиги $L = 0,4$ Гн бўлган ғалтакни частотаси $\nu_1 = 50$ Гц ва $\nu_2 = 400$ Гц бўлган ўзгарувчан ток тармоқларига уланган ҳоллар учун индуктив қаршиликлари X_{L_1} ва X_{L_2} ни топинг.

Жавоб: $X_{L_1} = 2\pi\nu_1 L = 125,6$ Ом; $X_{L_2} = 2\pi\nu_2 L = 1005$ Ом.

59.4. $C = 12$ мкФ сиғимли конденсаторни частотаси $\nu_1 = 50$ Гц, $\nu_2 = 5$ кГц ва $\nu_3 = 25$ мГц бўлган ток тармоқларига уланган ҳоллар учун сиғим қаршиликлари X_{C_1} , X_{C_2} ва X_{C_3} ни топинг.

Жавоб: $X_{C_1} = \frac{1}{2\pi\nu_1 C} = 265$ Ом; $X_{C_2} = \frac{1}{2\pi\nu_2 C} = 2,65$ Ом;
 $X_{C_3} = \frac{1}{2\pi\nu_3 C} = 5,31 \cdot 10^{-4}$ Ом.

59.5. Актив қаршилиги жуда кичик бўлган ғалтак $\nu = 50$ Гц частотали ўзгарувчан ток тармоғига уланган. Ғалтак учларига уланган вольтметр $U_{\text{эфф}} = 120$ В кучланишни, амперметр эса $I_{\text{эфф}} = 2,4$ А ни кўрсатса, ғалтакнинг индуктивлиги L ни топинг.

Жавоб: $L = \frac{U_{\text{эфф}}}{2\pi\nu I_{\text{эфф}}} = 0,16$ Гн.

59.6. Эффе́ктив кучланиши $U_{\text{эфф}} = 120$ В ва частотаси $\nu = 1$ кГц бўлган ўзгарувчан токка уланганда ғалтакнинг индуктив қаршилиги $X_L = 250$ Ом бўлса, ундан ўтаётган ток кучининг амплитуда қиймати I_0 ни унинг индуктивлиги L ни топинг.

Жавоб: $I_0 = \sqrt{2} \frac{U_{\text{эфф}}}{X_L} = 0,68$ А; $L = \frac{X_L}{2\pi\nu} = 0,04$ Гн.

59.7. Стандарт ($\nu = 50$ Гц) частотали ўзгарувчан ток занжирдаги актив қаршилиги $R = 10$ Ом ва индуктивлиги $L = 0,2$ Гн бўлган ғалтакнинг тўла қаршилиги Z ни топинг.

Жавоб: $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{R^2 + (2\pi\nu L)^2} = 63,6$ Ом.

59.8. Стандарт ($\nu = 50$ Гц) частотали ва $U_{\text{эфф}} = 220$ В кучланишли ўзгарувчан ток тармоғига кетма-ке^Т қилиб $R = 20$ Ом ли қаршилик, $L = 60$ мГн индуктивликли ғалтак ва $C = 80$ мкФ сизимли конденсатор уланган. Занжирдаги токнинг эффе^Тктив кучи $I_{\text{эфф}}$ қаршилик, ғалтак ва конденсаторлардаги кучланишлар U_R , U_L , U_C ни топинг.

Жавоб: $I_{\text{эфф}} = \frac{U_{\text{эфф}}}{Z} = \frac{U_{\text{эфф}}}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} = \frac{U_{\text{эфф}}}{\sqrt{R^2 + \left(2\pi\nu L - \frac{1}{2\pi\nu C}\right)^2}} = 7,6$ А; $U_R = I_{\text{эфф}} \cdot R = 152$ В; $U_L = I_{\text{эфф}} \cdot X_L = I_{\text{эфф}} \cdot 2\pi\nu L = 143$ В; $U_C = I_{\text{эфф}} \cdot X_C = I_{\text{эфф}} \frac{1}{1\pi\nu C} = 303$ В.

59.9. Стандарт ($\nu = 50$ Гц) частотали ва $U_{\text{эфф}} = 120$ В кучланишли ўзгарувчан ток тармоғига қаршилиги $R = 10$ Ом ва индуктивлиги $L = 0,2$ Гн бўлган электромагнит уланган. Ток кучининг эффе^Тктив $I_{\text{эфф}}$ ва амплитуда I_0 қиймаглари^{ни}, шунингдек токнинг актив $N_{\text{акт}}$ ва тўла S қувватларини топинг.

Жавоб: $I_{\text{эфф}} = \frac{U_{\text{эфф}}}{\sqrt{R^2 + (2\pi\nu L)^2}} = 1,9$ А; $I_0 = \sqrt{2} I_{\text{эфф}} = 2,7$ А,
 $N_{\text{акт}} = I_{\text{эфф}} \cdot U_{\text{эфф}} \cos \varphi = I_{\text{эфф}} U_{\text{эфф}} \frac{R}{Z} = \frac{I_{\text{эфф}} U_{\text{эфф}} R}{\sqrt{R^2 + (2\pi\nu L)^2}} = 36$ Вт.
 $S = I_{\text{эфф}} U_{\text{эфф}} = 228$ В · А.

59.10. Частотаси $\nu = 400$ Гц бўлган ўзгарувчан ток тармоғига $C = 2$ мкФ сизимли конденсатор уланган занжирда кучланиш резонанси ҳосил бўлиши учун занжирга уланиши керак бўлган ғалтакнинг индуктивлиги L ни топинг.

Жавоб: $L = \frac{1}{4\pi^2\nu^2 C} = 79 \cdot 10^{-3}$ Гн = 79 мГн.

59.11. Частотаси $\nu = 500$ Гц бўлган ўзгарувчан ток тармоғига $L = 20$ мГн индуктивликли ғалтак уланган занжирда кучланиш резонанси ҳосил бўлиши учун занжирга уланиши керак бўлган конденсаторнинг сизими C ни топинг.

Жавоб: $C = \frac{1}{4\pi^2\nu^2 L} = 5 \cdot 10^{-6}$ Ф = 5 мкФ.

59.12. Ўзгарувчан ток занжиридаги амперметр $I_{\text{эфф}} = 6$ А токни, вольтметр $U_{\text{эфф}} = 220$ В кучланишни, ваттметр эса $N_{\text{акт}} = 600$ Вт қувватни кўрсатади. Қувват коэффициенти $\cos \varphi$ ни ва ток кучи билан кучланиш орасидаги фазанинг силжиши φ ни топинг.

$$\text{Жавоб: } \varphi = \arccos \frac{N_{\text{акт}}}{I_{\text{эфф}} U_{\text{эфф}}} = \arccos 0,4545 = 63^\circ.$$

60-§. ТРАНСФОРМАТОРЛАР

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Трансформаторнинг бирламчи чулғамидаги токнинг кучи $I_1 = 0,5$ А, қисқичларидаги кучланиш эса $U_1 = 220$ В бўлган. Агар трансформациялаш коэффициенти $k = 22$ бўлса, иккиламчи чулғамдаги токнинг кучи I_2 ни ва қисқичлардаги кучланиш U_2 ни топинг.

Берилган: $I_1 = 0,5$ А, $U_1 = 220$ В, $k = 22$.

Топиш керак: $I_2 = ?$ $U_2 = ?$

Ечилиши: Агар исроф ҳисобга олинмаса, трансформаторнинг трансформациялаш коэффициенти K қуйидагига тенг бўлади:

$$k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

бундан иккинчи чулғамдаги токнинг кучи I_2 ва кучланиш U_2 ни аниқлаб, ҳисоблаймиз:

$$I_2 = k \cdot I_1 = 22 \cdot 0,5 \text{ А} = 11 \text{ А},$$

$$U_2 = \frac{U_1}{k} = \frac{220 \text{ В}}{22} = 10 \text{ В}.$$

Жавоб: $I_2 = 11$ А, $U_2 = 10$ В.

2-масала. Трансформаторнинг бирламчи чулғамида кучланиш $U_1 = 220$ В бўлган. Агар трансформациялаш коэффициенти $k = 10$ бўлиб, қаршилиги $R_2 = 4$ Ом бўлган иккиламчи чулғамдан $I_2 = 5$ А ток ўтаётган бўлса, иккиламчи чулғам қисқичларидаги ЭЮК \mathcal{E}_2 ни топинг. Бирламчи чулғамдаги энергия исрофини ҳисобга олманг.

Берилган: $k = 10$, $U_1 = 220$ В, $R_2 = 4$ Ом, $I_2 = 5$ А.

Топиш керак: $\mathcal{E}_2 = ?$

Ечилиши: Трансформаторнинг иккиламчи чулғамида индукцияланган U_2 кучланиш унинг қисқичларидаги кучланиш билан R_2 қаршиликда исроф бўлган $I_2 R_2$ кучланишнинг йиғиндисига тенг: $U_2 = \mathcal{E}_2 + I_2 R_2$. У ҳолда трансформациялаш коэффициенти қуйидаги формула билан аниқланади:

$$k = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{U_1}{\mathcal{E}_2 + I_2 R_2}$$

Бундан иккиламчи чулғам учларидаги ЭЮК ϵ_2 қуйидагига тенг булади:

$$\epsilon_2 = \frac{U_1 - KI_2R_2}{K} = \frac{20 \text{ В} - 0,5 \text{ А} \cdot 4 \text{ Ом}}{10} = 2 \text{ В}.$$

Жавоб: ЭЮК $\epsilon_2 = 2 \text{ В}$.

3- масала. $U_1 = 380 \text{ В}$ кучланишли тармоққа уланган трансформаторнинг бирламчи чулғамидаги ўрамлар сони $N_1 = 1320$. Иккиламчи чулғамнинг қаршилиги $R_2 = 0,2 \text{ Ом}$ бўлиб, унга $P_2 = 360 \text{ Вт}$ қувватли, қаршилиги $R = 3,6 \text{ Ом}$ бўлган актив нагрузка уланган. Иккиламчи чулғамдаги токнинг кучи I_2 ва индукцияланган кучланиш U_2 , ундаги ўрамлар сони N_2 ; бирламчи чулғамдаги токнинг кучи I_1 ва трансформаторнинг ФИК η топилсин.

Берилган: $U_1 = 380 \text{ В}$, $N_1 = 1320$, $R_2 = 0,2 \text{ Ом}$, $R = 3,6 \text{ Ом}$, $P_2 = 360 \text{ Вт}$.

Топиш керак: $I_2 = ?$ $U_2 = ?$ $N_2 = ?$ $I_1 = ?$ $\eta = ?$

Ечилиши: Трансформаторнинг иккиламчи чулғамига уланган қаршиликли нагрузкада ажралган P_2 қувват қуйидаги формуладан аниқланади:

$$P_2 = I_2^2 R.$$

Бундан трансформаторнинг иккиламчи чулғамидан ўтаётган токнинг кучини осонгина аниқлаш мумкин:

$$I_2 = \sqrt{\frac{P_2}{R}} = \sqrt{\frac{360 \text{ Вт}}{3,6 \text{ Ом}}} = 10 \text{ А}.$$

Иккиламчи чулғамда индукцияланган U_2 кучланиш R қаршиликли нагрузкадаги кучланиш билан R_2 қаршиликли чулғамдаги $I_2 R_2$ кучланишнинг йиғиндисига тенг.

$$U_2 = I_2 R + I_2 R_2 = I_2 (R + R_2).$$

Бундан U_2 ни ҳисоблаб топамиз:

$$U_2 = I_2 (R + R_2) = 10 \text{ А} (3,6 \text{ Ом} + 0,2 \text{ Ом}) = 38 \text{ В}.$$

Трансформаторнинг трансформациялаш коэффициенти k қуйидаги формула ёрдамида аниқланади:

$$k = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}. \quad (1)$$

Бунда N_1 , N_2 — бирламчи ва иккиламчи чулғамлардаги ўрамлар сони, I_1 , I_2 — тоқлар кучи, U_1 , U_2 — эса кучланишлар. (1) дан иккиламчи чулғамдаги ўрамлар сони N_2 ни аниқлаймиз:

$$N_2 = N_1 \frac{U_2}{U_1} = \frac{1320 \text{ В}}{380 \text{ В}} = 132.$$

Трансформаторнинг трансформациялаш коэффициентининг фойдасидан бирламчи чулғамдаги токнинг кучи I_1 ни аниқлаймиз:

$$I_1 = I_2 \frac{N_2}{N_1} = 10 \text{ A} \frac{132}{1320} = 1 \text{ A}.$$

Трансформаторнинг ФИК нагрузкада ажралган $I_2^2 R$ фойдали қувватни бирламчи чулғамдаги токнинг қуввати $I_1 U_1$ га бўлган нисбатига тенгдир:

$$\eta = \frac{I_2^2 R}{I_1 U_1} = \frac{(10 \text{ A})^2 \cdot 3,6 \text{ Ом}}{1 \text{ A} \cdot 380 \text{ В}} = 0,95 = 95\%.$$

Жавоб: $I_2 = 10 \text{ A}$, $U_2 = 38 \text{ В}$, $N_2 = 132$, $I_1 = 1 \text{ A}$, $\eta = 95\%$.

Мустақил ечиш учун масалалар

60.1. Кучланишни $U_1 = 120 \text{ В}$ дан $U_2 = 480 \text{ В}$ га кучайтирадиган трансформаторнинг бирламчи чулғамидаги ўрамлар сони $N_1 = 800$ бўлса, трансформациялаш коэффициенти k ни ва иккиламчи чулғамдаги ўрамлар сони N_2 ни топинг.

Жавоб: $k = \frac{U_2}{U_1} = \frac{4}{3} = 1,33$; $N_2 = N_1 \frac{U_2}{U_1} = 3200$.

60.2. Кучайтирувчи трансформаторнинг бирламчи чулғамида $N_1 = 125$ ўрам, иккиламчи чулғамида эса $N_2 = 2000$ ўрам бор. Бирламчи чулғамнинг учларидаги кучланиш $U_1 = 220 \text{ В}$, иккиламчи чулғамдаги токнинг кучи $I_2 = 0,5 \text{ А}$ бўлса, трансформаторнинг фойдали қуввати N_ϕ ни топинг.

Жавоб: $N_\phi = I_2 U_2 = I_1 U_1 \frac{N_2}{N_1} = 1760 \text{ Вт}$.

60.3. Пасайтирувчи трансформаторнинг иккиламчи чулғами занжирдаги кучланиш $U_2 = 110 \text{ В}$ ва токнинг кучи $I_2 = 4 \text{ А}$ бўлганда, кучланиши $U_1 = 220 \text{ В}$ бўлган бирламчи чулғамдаги токнинг кучи I_1 ни топинг. Энергия исрофини ҳисобга олманг.

Жавоб: $I_1 = I_2 \frac{U_2}{U_1} = 2 \text{ А}$.

60.4. Трансформациялаш коэффициенти $k = 40$ бўлган трансформатор $U_1 = 220 \text{ В}$ кучланишли тармоққа уланган. Иккиламчи чулғамга $R = 11 \text{ Ом}$ қаршиликли асбоб уланган бўлса, асбобдан ўтаётган токнинг кучи I_2 ни топинг.

Жавоб: $I_2 = \frac{U_1}{kR} = 0,5 \text{ А}$.

60.5. Трансформациялаш коэффициенти $k = 20$ бўлган пасайтирувчи трансформатор $U_1 = 220 \text{ В}$ кучланишли тармоққа

уланган. Агар трансформаторнинг иккиламчи чулғамининг қаршилиги $R = 0,4$ Ом бўлиб, актив нагруканинг қаршилиги $R = 4$ Ом бўлса, трансформаторнинг иккиламчи чулғам учларидаги U_2' кучланишни топинг.

$$\text{Жавоб: } U_2' = \frac{U_1}{k} \left(1 - \frac{R_2}{R} \right) = 9,9 \text{ В.}$$

60.6. Трансформаторнинг бирламчи чулғамидаги токнинг кучи $I_1 = 5$ А, унинг учларидаги кучланиш $U_1 = 120$ В, иккиламчи чулғамида токнинг кучи $I_2 = 2$ А, кучланиш эса $U_2 = 235$ В бўлса, трансформаторнинг $\cos \varphi = 1$ бўлгандаги ФИК η ни топинг.

$$\text{Жавоб: } \eta = \frac{I_2 U_2}{I_1 U_1} = 0,95 = 95\%.$$

60.7. Радиоприёмникнинг ток кучи трансформаторларидаги бирламчи чулғам $N_1 = 11000$ ўрамдан иборат бўлиб, у $U_1 = 220$ В кучланишли тармоққа уланган. Агар иккиламчи чулғамнинг қаршилиги $R_2 = 0,5$ Ом ва унинг кучларидаги чулгантириш кучланиши ток кучи $I_2 = 1$ А бўлганда $U_2' = 6,5$ В бўлса, иккиламчи чулғамдаги ўрамлар сони N_2 ни топинг.

$$\text{Жавоб: } N_2 = N_1 \frac{U_2'}{U_1} = N_1 \frac{U_2' + I_2 R_2}{U_1} = 350.$$

60.8. Пасайтирувчи трансформаторнинг бирламчи чулғами $U_1 = 220$ В кучланишли тармоққа уланган. Трансформаторнинг иккиламчи чулғами учларидаги ЭЮК $\mathcal{E}_2 = 9$ В, чулғамнинг қаршилиги $R_2 = 1$ Ом, ундан ўтувчи ток $I_2 = 2$ А бўлса, трансформаторнинг трансформациялаш коэффициент k ва ФИК η ни топинг. Бирламчи чулғамдаги энергиянинг исрофини ҳисобга олманг.

$$\text{Жавоб: } k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{U_1}{\mathcal{E}_2 + I_2 R_2} = 20; \quad \eta = k \frac{\mathcal{E}_2}{U_1} = 0,82 = 82\%.$$

60.9. Трансформаторнинг бирламчи чулғами $U_1 = 220$ В кучланишли тармоққа уланиб, у салт ишлаганда, унинг иккиламчи чулғамида $U_2' = 60$ В кучланиш ҳосил бўлди. Бирламчи чулғамдаги ўрамлар сони $N_1 = 660$. Агар трансформаторнинг ФИК $\eta = 90\%$ бўлса, иккиламчи чулғамдаги ўрамлар сони N_2 ни топинг.

$$\text{Жавоб: } N_2 = N_1 \frac{U_2'}{\eta U_1} = 19.$$

60.10. Трансформациялаш коэффициенти $k = 11$ бўлган трансформатор $U_1 = 220$ В кучланишли тармоққа уланган. Иккиламчи чулғамнинг қаршилиги $R_2 = 1,2$ Ом, ундаги ток эса $I_2 = 5$ А булса, иккиламчи чулғамга уланган актив нагруканинг қаршилиги R ни ва иккиламчи чулғам учларидаги кучланиш U_2 ни топинг.

Жавоб: $R = \frac{U_1}{I_2} - R_2 = \frac{U_1}{kI_2} - R_2 = 2,8$ Ом; $U_2 = U_1 - I_2 R_2 = 14$ В.

БЕШИНЧИ ҚИСМ

ОПТИКА. АТОМ ВА ЯДРО ФИЗИКАСИ

XII боб. ГЕОМЕТРИК ОПТИКА

Бир жинсли муҳитда ёруғлик нури тўғри чизиқли текис ҳаракатланади, яъни

$$s = ct, \quad (\text{XII.1})$$

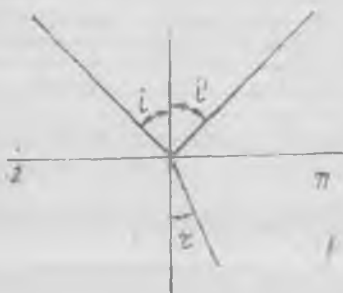
бунда s —ёруғликнинг тарқалиш масофаси, c —ёруғликнинг тарқалиш тезлиги бўлиб, бўшлиқда $c=3 \cdot 10^8$ м/с, t —ёруғликнинг тарқалиш вақти.

● Ёруғлик нурининг қайтиш қонуни: икки муҳит чегарасига тушувчи ва ундан қайтувчи нурлар билан нурнинг тушиш нуқтасига ўтказилган нормал битта текисликда ётиб, нурнинг тушиш бурчаги i қайтиш бурчаги i' га тенгдир (12.1-расм), яъни

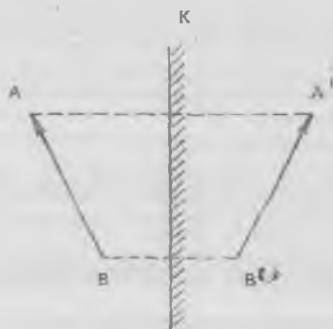
$$i = i'. \quad (\text{XII.2})$$

● Буюмнинг ясси кўзгудаги тасвири ҳамма вақт ма в ҳ у м, т ў ғ р и, б у ю м г а т е н г в а кўзгу текислигига нисбатан симметрик жойлашган бўлади (12.2- расм).

● Ўзаро α бурчак остида туташтирилган иккита кўзгу ораси-



12.1- расм



12.2- расм

даги нуктанинг тасвирлар сони n қуйидаги муносабатдан аниқланади:

$$n = \frac{2\pi}{\lambda}. \quad (\text{XII.3})$$

● Эгрилик радиуси R га тенг бўлган сферик кўзгунинг фокус масофаси F ва оптик кучи D қуйидагига тенгдир:

$$F = \pm \frac{R}{2} \quad \text{ва} \quad D = \frac{1}{F} = \pm \frac{2}{R}, \quad (\text{XII.4})$$

бунда “+” — ишора йиғувчи (ботиқ) кўзгуга, “-” — ишора эса сочувчи (қавариқ) кўзгуга тегишлидир.

СИ системасида сферик кўзгунинг фокус масофаси метр (м) ларда, оптик кучи эса диоптрия (дптр) ларда ўлчанади, яъни:

$$|F|_{\text{СИ}} = 1 \text{ м};$$

$$|D|_{\text{СИ}} = \left| \frac{1}{F} \right|_{\text{СИ}} = \frac{1}{1 \text{ м}} = 1 \text{ дптр}.$$

● Буюмдан сферик кўзгугача бўлган масофа d ва унинг кўзгудан тасвиргача бўлган масофа f бўлса, кўзгу фокусини топиш формуласи қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\pm \frac{1}{F} = \frac{1}{d} \pm \frac{1}{f}. \quad (\text{XII.5})$$

Агар ботиқ кўзгуда чин тасвир ҳосил бўлса, формулада F , f катталиклар „мусбат“ („+“) — ишора билан олинади, мавҳум тасвирда эса фақат f катталик „манфий“ („-“) — ишора билан олинади.

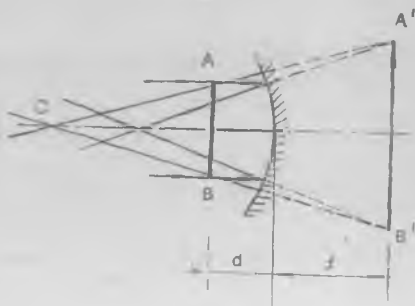
● Кўзгунинг чизиқли катталаштириши K тасвир ўлчами H ни буюмнинг ўлчами h га бўлган нисбатига тенг бўлиб, 12.3-расмдан кўринадики, уни тасвирдан кўзгугача бўлган масофа f ни буюмдан кўзгугача бўлган масофа d га нисбати билан аниқлаш мумкин:

$$K = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}. \quad (\text{XII.6})$$

● Иккинчи муҳитнинг биринчи муҳитга нисбатан синдириш кўрсаткичи n_{12} деб, нурнинг тушиш бурчаги синусининг синиши бурчаги синусига бўлган нисбатига айтилади:

$$n_{12} = \frac{\sin i}{\sin r}. \quad (\text{XII.7})$$

бу ерда i — тушиш бурчаги, r — синиш бурчаги.



12.3- расм

Бу ҳолда икки муҳит чегарасига тушувчи ва синиб ўтувчи нурлар билан нурнинг тушиш нуқтасига ўтказилган нормал бир текисликда ётади.

n_{12} —муҳитнинг нисбий синдириш кўрсаткичи ёруғликнинг иккинчи муҳитдаги тарқалиш тезлиги v_2 нинг биринчи муҳитда тарқалиш тезлиги v_1 дан неча марта кичиклигини ҳам ифодалайди, яъни

$$n_{12} = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2}. \quad (\text{XII.7 а})$$

Бирор муҳитнинг вакуумга нисбатан синдириш кўрсаткичи *абсолют синдириш кўрсаткичи* деб аталиб, у ёруғликнинг вакуумда тарқалиш тезлиги c муҳитдагидан неча марта катта эканини кўрсатади, яъни:

$$n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{c}{v}. \quad (\text{XII.7 б})$$

Нисбий синдириш кўрсаткичи иккинчи ва биринчи муҳит абсолют синдириш кўрсаткичлари нисбатига тенг:

$$n_{12} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{c/n_1}{c/n_2} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (\text{XII.7 в})$$

бунда n_1 ва n_2 —биринчи ва иккинчи муҳитнинг абсолют синдириш кўрсаткичлари.

Агар $n_{12} > 1$ бўлса, иккинчи муҳитни биринчи муҳитга нисбатан *оптик зичлиги катта* бўлган муҳит дейилади.

● **Тушган ва синган нурларнинг ўзаро айланувчанлиги:** тушувчи нур синган нур бўйлаб йўналтирилса, синган нур тушувчи нур йўналиши бўйлаб кетади. Шунинг учун ҳам қуйидаги муносабат ўринлидир:

$$n_{12} = \frac{1}{n_{21}}. \quad (\text{XII.7 г})$$

● Нурнинг синиш бурчаги 90° бўлган ҳолдаги тушиш бурчаги *тўла ички қайтишнинг чегаравий лимит бурчаги* $i_{\text{чер}}$ дейилади, яъни:

$$\sin i_{\text{чер}} = \frac{1}{n}, \quad i_{\text{чер}} = \arcsin\left(\frac{1}{n}\right). \quad (\text{XII.8})$$

● Линзанинг фокус масофаси F га тескари катталиқ—*линзанинг оптик кучи* D линза моддасининг синдириш кўрсаткичи n ва унинг сиртларининг эгрилик радиуслари R_1 ва R_2 орқали қуйидагича ифодаланади:

$$D = \frac{1}{F} = \pm(n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right), \quad (\text{XII.9})$$

бунда мусбат („+“) ишора йиғувчи (қавариқ) линзага, манфий („-“, ишора эса сочувчи (ботиқ) линзага тааллуқлидир.

● Линза фокусини топиш формуласи буюмдан линзагача бўлган масофа d ва унинг линзадан тасвиригача бўлган масофа f орқали қуйидагича ифодаланади:

$$\pm \frac{1}{F} = \frac{1}{d} \pm \frac{1}{f}. \quad (\text{XII.10})$$

Агар йиғувчи линзада чин тасвир ҳосил бўлса, F , f —катталиклар мусбат („+“) — ишора билан, мавҳум тасвир ҳосил бўлганда эса f катталик манфий („—“) ишора билан олинади. Сочувчи линзада фақат мавҳум тасвир ҳосил бўлганлиги учун F , f —катталиклар манфий („—“) ишоралар билан олинади.

● Линзанинг чизиқли катталаштириши $A'B'$ тасвирнинг ўлчами H ни буюм AB нинг ўлчами h га нисбатига тенг бўлиб, 12.4-расмдан кўринадики, катталаштириш K линзадан тасвиригача бўлган масофа f ни буюмдан линзагача бўлган d га нисбатига тенг:

$$K = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}. \quad (\text{XII.11})$$

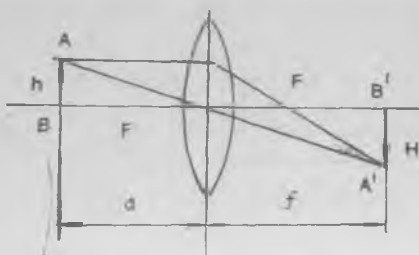
● Лупа кўзнинг энг яхши кўриш масофаси ($L_0 = 25$ см) даги буюмни катталаштириб беришга имкон берадиган йиғувчи линза бўлиб, унинг чизиқли катталаштириши K қуйидагига тенгдир (12.5-расм):

$$K = \frac{H}{h} = \frac{L_0}{F}, \quad (\text{XII.12})$$

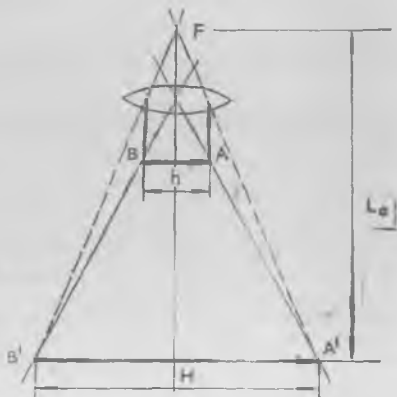
бунда F —лупанинг фокус масофаси.

● Микроскопнинг катталаштириши K объективнинг катталаштириши $K_1 = \frac{\sigma}{F_1}$ ни окуляр (лупа) нинг катталаштириши $K_2 = \frac{L_0}{F_2}$ га кўпайтмасига тенгдир, яъни:

$$K = K_1 \cdot K_2 = \frac{\sigma}{F_1} \cdot \frac{L_0}{F_2}, \quad (\text{XII.13})$$



12.4- расм



12.5- расм

бунда σ —микроскоп тубусининг узунлиги, F_1 — объективнинг фокус масофаси, L_0 —кўзнинг энг яхши кўриш масофаси, F_2 — окулярнинг фокус масофаси.

61-§. ЁРУҒЛИКНИНГ ТЎҒРИ ЧИЗИҚЛИ ТАРҚАЛИШИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Тошкент телеминораси соясининг узунлиги $L = 50$ м, баландлиги $h = 7,5$ м бўлган симёғоч соясининг узунлиги эса $l = 1$ м бўлса, телеминоранинг баландлиги H топилин

Берилган: $L = 50$ м; $h = 7,5$ м; $l = 1$ м.

Топиш керак: $H = ?$

Ечилиши: Масаланинг шартига мос келувчи 12.6-расмни чизамиз. Чизмадан кўринадики, $\triangle ABC \sim \triangle A'B'C$ бўлганлиги учун, қуйидаги пропорционалликни ёзамиз:

$$\frac{H}{h} = \frac{L}{l}.$$

Бундан изланаётган миноранинг баландлиги H қуйидагига тенг бўлади:

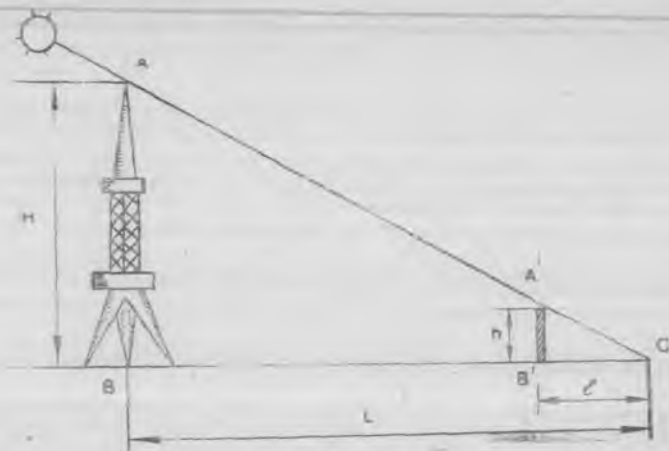
$$H = h \frac{L}{l},$$

бунда h —симёғочнинг баландлиги, L —телеминора соясининг узунлиги, l —эса симёғоч соясининг узунлиги.

Масалада берилган катталикларнинг сон қийматларини ўрнига қўйиб, ҳисоблаб чиқамиз:

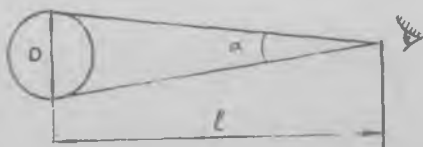
$$H = h \frac{L}{l} = 7,5 \text{ м} \cdot \frac{50 \text{ м}}{1 \text{ м}} = 375 \text{ м}.$$

Жавоб: Тошкент телеминорасининг баландлиги $H = 375$ м га тенг экан.



12.6-расм

2-масала. Тўлиқ тутилган Қуёш диаметрининг кўриниш бурчаги $\alpha = 0,5^\circ$ бўлган. Агар Ердан Қуёшгача бўлган масофа $l = 150$ млн км бўлса, Қуёшнинг диаметри D топилсин.



12.7-расм

Берилган: $\alpha = 0,5^\circ = 0,5 \times$
 $\times \frac{3,14 \text{ рад}}{180^\circ} = 8,7 \cdot 10^{-3} \text{ рад}, \quad l = 150 \text{ млн км} = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ м.}$

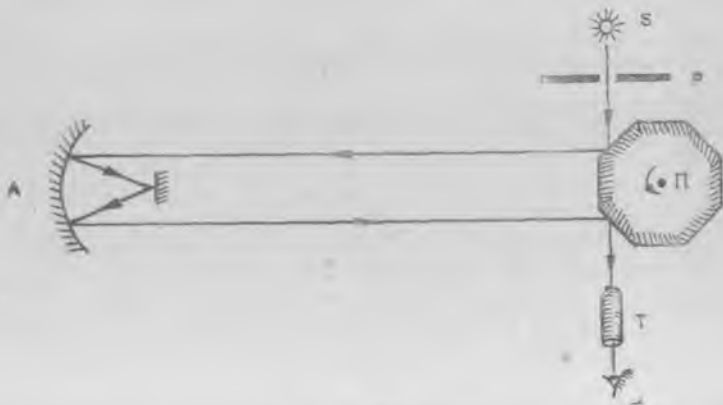
Топиш керак: $D = ?$

Ечилиши: Қуёш диаметрининг кўриниш бурчаги α жуда кичик бўлганлиги учун (12.7-расм) унинг диаметри D кўриниш бурчаги α нинг Қуёшгача бўлган масофа l га кўпайтмасига тенг дейиш мумкин:

$$D = \alpha \cdot l = 8,7 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 10^{11} \text{ м} = 13 \cdot 10^8 \text{ м} = 1,3 \text{ млн км.}$$

Жавоб: $D = 1,3$ млн км.

3-масала. Америка олими Майкельсон 1826 йилда ёруғлик тезлигини аниқлашда Калифорниядаги Вильсон ва Сан-Антонио тоғ чўққилардан фойдаланган, бу чўққилар орасидаги масофа $l = 35373,21$ м бўлиб, жуда аниқ ўлчанган. 12.8-расмда Майкельсон тажрибаси схематик равишда тасвирланган бўлиб, унда саккиз ёқли ($n = 8$) кўзгули Π призма Вильсон тоғининг чўққисига, A ботиқ кўзгу эса Сан-Антонио тоғи чўққисига ўрнатилган. Призма кўзгалмай турганда кузағувчи T куриш трубасида D тирқишнинг тасвирини кўради. Агар Π призма ҳаракатга келтирилса, тирқишнинг тасвири кузатувчи кўриш соҳасидан чиқиб кетиб, призманинг айланиш частотаси $\nu = 528,16 \cdot 1/\text{с}$ бўлганда тирқишнинг тасвири яна қайта кўринган бўлса, ёруғликнинг тарқалиш тезлиги c топилсин.



12.8-расм

Берилган: $l = 35373,21$ м; $n = 8$; $v = 528,16 \cdot 1/с$.

Топиш керак: $c = ?$

Ечилиши: Призманинг $\varphi = \frac{2\pi}{n}$ бурчакка бурилиш вақти t оралиғида ёруғлик тоғлар оралиғидаги l масофани икки марта ($s = 2l$) ўтганидагина кузатувчи l кўриш трубаси орқали яна тирқишнинг тасвирини кўради. Бинобарин, призманинг φ бурчакка буриш вақти t қуйидагига тенг бўлади:

$$t = \frac{\varphi}{\omega} = \frac{2\pi/n}{2\pi\nu} = \frac{1}{n\nu}.$$

бунда ω —призманинг бурчакли тезлиги, ν эса айланиш частотаси.

У ҳолда ёруғликнинг тарқалиш тезлиги c қуйидагига тенг бўлади:

$$c = \frac{s}{t} = \frac{2l}{t} = 2nl\nu = 2 \cdot 8 \cdot 35373,21 \text{ м} \cdot 528,16 \cdot 1/с = 2,99 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

Жавоб: $c = 2,99 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.

Мустақил ечиш учун масалалар

61.1. Анча узоқда турган, баландлиги $h = 7$ м бўлган симёғочнинг кўриниш бурчаги $\alpha = 2^\circ$ бўлса*, симёғочгача бўлган масофа l ни топинг.

Жавоб: $l = \frac{h}{\alpha} = 200$ м.

61.2. Ой диаметрининг кўриниш бурчаги $\alpha = 0,5^\circ$, Ердан Ойгача бўлган масофа эса $l = 3,84 \cdot 10^8$ м бўлса, Ойнинг диаметри D ни топинг.

Жавоб: $D = \alpha \cdot l = 3,35 \cdot 10^6$ м.

61.3. Қуёш ёритиб турган чинор соясининг узунлиги $L = 9$ м, баландлиги $h = 2$ м, вертикал ёғоч соясининг узунлиги эса $l = 1,2$ м бўлса, чинорнинг баландлиги H ни топинг.

Жавоб: $H = h \frac{L}{l} = 15$ м.

61.4. Агар Қуёш ва Ернинг радиуслари мос равишда $R = 6,95 \cdot 10^8$ м ва $r = 6,37 \cdot 10^6$ м ҳамда Ердан Қуёшгача бўлган масофа $L = 1,5 \cdot 10^{11}$ м бўлса, Ер шари соясидан ҳосил бўладиган конус ўқининг узунлиги l ни топинг.

Жавоб: $l = L \frac{r}{R+r} = 1,39 \cdot 10^9$ м.

* Бурчак кичик (яъни, 5° гача) бўлганда синус ва тангенсларнинг ифодаси радианларда ифодаланган бурчакка тенгдир.

61.5. Бўйи $h = 1.6$ м бўлган бола чироқ томонга $v = 1$ м/с тезлик билан яқинлашиб бормоқда. Маълум вақт momentiда бола соясининг узунлиги $l_1 = 2$ м бўлиб, $t = 2$ с вақт ўтгандан кейин эса соясининг узунлиги $l_2 = 1.6$ м бўлган. Чироқ осилган баландлик H ни топинг.

Жавоб: $H = h \frac{vt + (l_1 - l_2)}{l_1 - l_2} = 9,6$ м.

61.6. Агар ёруғлик Ердан Ойгача бўлган $s = 3,84 \cdot 10^5$ км масофани $t = 1,28$ с вақтда ўтса, ёруғликнинг тезлиги c ни топинг.

Жавоб: $v = \frac{s}{t} = 3 \cdot 10^8$ м/с.

61.7. Агар Қуёшдан Ергача бўлган масофа $s = 1,5 \cdot 10^8$ км бўлса, ёруғликнинг Қуёшдан Ерга етиб келиш вақти t ни топинг. Ёруғликнинг тарқалиш тезлиги $v = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Жавоб: $t = \frac{s}{v} = 500$ с = 8 мин 20 с.

61.8. Астрономияда юлдузлар орасидаги масофани „Ёруғлик йили“ бирлигида ўлчаш қабул қилинган. „Ёруғлик йили“ деб ёруғлик нурининг $t = 1$ йил ичида босиб ўтган йўлига айтилади. „Ёруғлик йили“ нинг километр ҳисобидага узунлигини топинг. Ёруғликнинг тарқалиш тезлиги: $v = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Жавоб: $s = vt = 9,46 \cdot 10^{15}$ м = $9,46 \cdot 10^{12}$ км.

61.9. Кўзга кўринадиган Андромеда туманлиги биздан $t = 9 \cdot 10^5$ ёруғлик йили масофада бўлса, бу масофа s ни километр ҳисобида ифодаланг. Ёруғликнинг тарқалиш тезлиги $v = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Жавоб: $s = vt = 8,51 \cdot 10^{21}$ м = $8,51 \cdot 10^{18}$ км.

62-§. ЁРУҒЛИКНИНГ ҚАЙТИШ ҚОНУНИ. ЯССИ КЎЗГУ

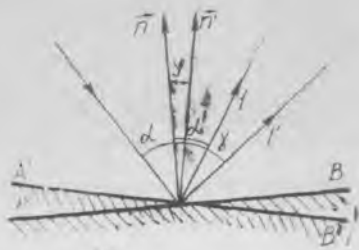
Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Агар ясси кўзгу $\varphi = 16^\circ$ бурчакка бурилса (12.9-расм), кўзгудан қайтган нур қандай γ бурчакка бурилади?

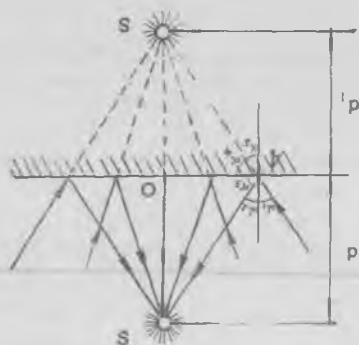
Берилган: $\varphi = 16^\circ$.

Топиш керак: $\gamma = ?$

Ечилиши: масала шартини ифодаловчи чизмадан (12.9-расм) кўри адики, кўзгу бурилмаган AB ҳолатда нурнинг тушиш бурчаги α ва қайтиш бурчаги α' ўзаро



12.9-расм



12.10-расм

тенгдир ($\alpha = \alpha'$). Бу ҳолда тушувчи нурлар орасидаги бурчак 2α га тенг бўлади. Кўзгу φ бурчакка бурилган $A'B'$ ҳолатда нурнинг тушиш ва қайтиш бурчаги ($\varphi + \alpha$) га тенг бўлиб) бу нурлар орасидаги бурчак эса $2(\varphi + \alpha)$ га тенг бўлиб қолади. Тушувчи нур қўзғалмай қолганлиги учун, қайтган нурнинг бурилиш бурчаги γ қуйидагига тенг бўлади:

$$\gamma = 2(\alpha + \varphi) - 2\alpha = 2\varphi = 2 \cdot 16^\circ = 32^\circ.$$

Жавоб: $\varphi = 16^\circ$; $\gamma = 2\varphi = 32^\circ$.

2-масала. S нуқтада йиғилувчи нурларнинг йўлига 12.10-расмда тасвирлангандек ясси кўзгу ўрнатилган. Агар S нуқтадан кўзгугача бўлган масофа $d = 25$ см бўлса, нуқтанинг тасвири S_1 дан кўзгугача бўлган масофа $S_1O = d_1$ топилсин.

Берилган: $SO = d = 25$ см.

Топиш керак: $S_1O = d_1 = ?$

Ечилиши: кўзгуга перпендикуляр ғавишда S нуқтага йўналган нур кўзгудан яна шу йўналишда қайтганлиги сабабли, S нуқтанинг тасвири кўзгуга туширилган S_1O перпендикуляр давомида ётади. Чизмадан кўринадики, S нуқтанинг тасвири S_1 нуқта A ва O нуқталардан қайтган нурларнинг давомининг кесишиш нуқтасида ётади. Кўзгудан S_1 нуқтагача бўлган масофа $S_1O = a_1$, ни $\triangle SAS_1$ учбурчакдан осонгина топиш мумкин. Ёруғлиқнинг қайтиш қонунига асосан чизмадан қуйидагиларни ёзамиз: $\alpha_1 = \alpha_2$ ва $\alpha_1 = \alpha_3$ бўлганлиги учун $\alpha_2 = \alpha_3$ ва $\alpha_3 = \alpha_4$ келиб чиқади. Бундан кўринадики, AO чизиқ $\triangle SAS_1$ учбурчакнинг баландлигидан иборат бўлган биссектриса ҳам бўлади. демак, у медиана ҳамдир, яъни $SO = S_1O$ га тенгдир.

Шундай қилиб, $d_1 = d = 25$ см экан.

Жавоб: $d_1 = 25$ см.

3-масала. Ўзаро $\alpha_1 = 60^\circ$ бурчак ҳосил қилиб ўрнатилган иккита кўзгу орасида турган A нуқтанинг тасвирлари сони N_1 геометрик яшаш йўли билан топилсин. Кўзгулар орасидаги бурчак α бўлган умумий ҳол учун тасвирлар сони N топилсин.

Берилган: $\alpha_1 = 60^\circ$; $\alpha \neq 60^\circ$.

Топиш керак: $N_1 = ?$, $N = ?$

Ечилиши. Ясси кўзгуда нуқтанинг тасвири кўзгуга нисбатан симметрик жойлашган мавҳум тасвирдан иборат бўлади. Бинобарин бирор α_1 бурчак билан туташтирилган иккита кўз-

гу орасидаги A нуқтанинг I ва II кўзгудаги A_1 ва A_2 маъхум тасвири ҳосил бўлиб, бу тасвирлардан янги A_{12} ва A_{21} тасвирлар ҳосил бўлади ва ниҳоят бу тасвирлардан яна A_{121} ва A_{212} тасвир иккала кўзгунинг орқа (сирли) томонида ҳосил бўлганлиги учун улардан бошқа тасвир ҳосил бўлмайди (12.11-расм).



12.11- расм

Шундай қилиб, кўзгулар орасидаги бурчак $\alpha_1 = 60^\circ$ бўлганда $N_1 = 6$ та тасвир ҳосил бўлар экан. Буни қуйидагича ёзиш мумкин:

$$N_1 = \frac{2\pi}{\alpha_1} = \frac{360^\circ}{60^\circ} = 6.$$

Бинобарин, умумий ҳолда α ихтиёрий қиймагга олганда тасвирлар сони N юқоридаги формулага биноан қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$N = \frac{2\pi}{\alpha}.$$

Жавоб: ўзаро $\alpha_1 = 60^\circ$ бурчак остида бирлаштирилган кўзгуда $N_1 = 6$ тасвир ҳосил бўлиб, умумий ҳолда тасвирлар сони $N = \frac{2\pi}{\alpha}$ бўлар экан.

Мустақил ечиш учун масалалар

62.1. Ясси кўзгу $\varphi = 27^\circ$ бурчакка бурилганда кўзгудан қайтувчи нур қандай γ бурчакка бурилади?

Жавоб: $\gamma = 2\varphi = 54^\circ$.

62.2. Ясси кўзгуга ёруғлик нури $\alpha_1 = 22^\circ$ бурчак остида тушмоқда. Агар тушган нурнинг ҳолати ўзгартирилмасдан, кўзгу бурилганда нурнинг тушиш бурчаги $\alpha = 36^\circ$ бўлиб қолса, қайтган нур қандай γ бурчакка бурилади?

Жавоб: $\gamma = 2\varphi = 2(\alpha - \alpha_1) = 28^\circ$.

62.3. Ўзаро $\alpha = 120^\circ$ бурчак ҳосил қилган икки кўзгу орасидаги нуқтадан ҳосил бўлган тасвирлар сони N ни топинг. Керакли чизмани чизинг.

Жавоб: $N = \frac{2\pi}{\alpha} = 3$.

62.4. Бир-бирига параллел ўрнатилган ($\alpha=0^\circ$) иккита кўз-
гуда ҳосил бўладиган тасвирлар сони N нимага тенг?

Жавоб: $N = \frac{2\pi}{\alpha} = \infty$.

62.5. Агар қудуқ тубини Қуёш нури билан ёритиш учун
кўзгу вертикалга нисбатан $\varphi=25^\circ$ бурчак остида жойлашти-
рилган бўлса, Қуёшнинг горизонтга нисбатан бурчак баландли-
ги γ ни топинг. Керакли чизмани чизинг.

Жавоб: $\gamma=90^\circ-2\varphi=40^\circ$.

62.6. Горизонтга нисбатан бурчагий баландлиги $\gamma=60^\circ$ бўл-
ган Қуёшнинг нури билан қудуқнинг тубини ёритиш учун
нурни қайтарувчи кўзгунинг вертикалга нисбатан қандай φ бур-
чак остида жойлаштириш керак? Керакли чизмани чизинг.

Жавоб: $\varphi = \frac{90^\circ-\gamma}{2} = 15^\circ$.

62.7. Ўзаро $\alpha=60^\circ$ бурчак ташкил қилувчи иккита ясси
кўзгу орасига уларнинг кесишиш чизигидан $d=8$ см масофада
ва ҳар қайси кўзгудан бир хил узоқликда S нуқтавий ёруғ-
лик манбаи жойлаштирилган. S нуқтанинг кўзгулардаги тас-
вирини чизинг ва ҳосил бўлган мавҳум тасвирлар орасидаги
масофа x ни топинг.

Жавоб: $x=2d\sin\frac{\alpha}{2}=8$ см.

62.8. Горизонтал тарқалаётган нурнинг йўлига кўзгу қўйил-
ганда нурнинг шуъласи вертикал экранда $h=15$ см баландлик-
ка тушган (12.12-расм). Агар кўзгудан экрангача бўлган ма-
софа $l=60$ см бўлса, нурнинг тушиш бурчаги α ни топинг.

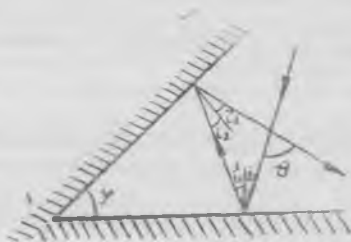
Жавоб: $\alpha=\arctg\frac{l}{h}=\arctg4=76^\circ$.

62.9. Кўзгули гальванометрнинг шкаласи $R=2$ м масофада
жойлашган. Агар нур шуъласи шкала марказидан $l=50$ см
масофага силжиган бўлса, кўзгу қандай i бурчакка бурилган?

Жавоб: $i=\arctg\frac{l}{R}=\arctg0,25=14^\circ$.



12.12- расм



12.13- расм

62.10. Ўзаро $\varphi=30^\circ$ бурчак остида туташтирилган иккита кўзгунинг бирига бурчак қиррасига перпендикуляр жойлашган текисликда ётувчи нур тушади. Бу нурнинг иккала кўзгудан қайтгандан кейинги оғиш бурчаги θ ни топинг (12.13-расм)

Жавоб: $\theta=2(i_1+i_2)=2\varphi=60^\circ$.

63- §. СФЕРИК КЎЗГУЛАР

Масалалар ечиш намуналари

1- масала. Эгрилик радиуси $R=45$ см бўлган ботиқ сферик кўзгуда буюмнинг $K=3$ марта катта тасвири ҳосил бўлган. Буюмдан кўзгугача бўлган масофа d топилсин.

Берилган: $R=45$ см; $K=3$.

Топиш керак: $d=?$

Ечилиши: ботиқ сферик кўзгуда буюмнинг тасвири икки ҳолда катталашган бўлади:

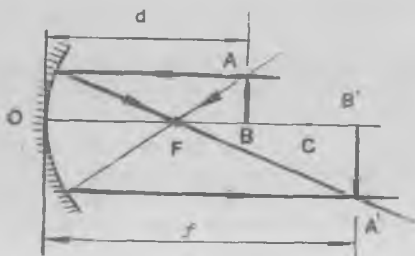
1) Агар буюм ботиқ сферик кўзгунинг фокуси F билан оптик маркази C оралиғида турса, унинг ҳақиқий, тескари ва катталашган тасвири ҳосил бўлади (12.14-а расм). Бу ҳолда ботиқ сферик кўзгунинг формуласи $\frac{2}{R} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$ бўлиб, унинг

катталаштириши формуласи $K = \frac{f}{d}$ дан $f = Kd = 3d$ бўлганлиги учун:

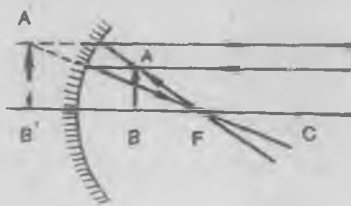
$$\frac{2}{R} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{d} + \frac{1}{3d} = \frac{4}{3d} \quad \text{ёки} \quad \frac{1}{R} = \frac{2}{3d}.$$

Охириги ифодадан буюмдан кўзгугача бўлган d масофани топиб, ҳисобласак:

$$d = \frac{2}{3} R = \frac{2}{3} \cdot 45 \text{ см} = 30 \text{ см}.$$



а)



б)

12.14- расм

2) Агар тасвир мавҳум бўлса (14, б-расм), кўзгу формуласидан

$$\frac{2}{R} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f} = \frac{1}{d} - \frac{1}{3d} = \frac{2}{3d} \quad \text{ёки} \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{3d},$$

бундан d ни топиб, ҳисобласак

$$d = \frac{1}{3} R = \frac{1}{3} \cdot 45 \text{ см} = 15 \text{ см.}$$

Жавоб: Тасвир ҳақиқий бўлганда буюм кўзгудан $d=30$ см масофада, мавҳум бўлганда эса $d=15$ см масофада бўлар экан.

2-масала. Ботиқ сферик кўзгуда буюмнинг ҳақиқий, тескари ва уч марта кичиклаштирилган ($K = \frac{1}{3}$) тасвири ҳосил бўлган. Агар буюм билан тасвир орасидаги масофа $l=40$ см бўлса, кўзгунинг фокус масофаси F топилсин.

Берилган: $K = \frac{1}{3}$; $l=40$ см.

Топиш керак: $F=?$

Ечилиши: агар буюм ботиқ сферик кўзгунинг оптик маркази C дан узоқда бўлса, буюмнинг тасвири ҳақиқий, тескари ва кичиклашган бўлади (12.15-расм).

Чизмага кўра $d=f+l$ бўлиб, кўзгунинг катталаштириш формуласидан $f=Kd$ бўлади. Бу икки муносабатдан d қуйидагига тенг бўлади:

$$d = \frac{l}{1-K}.$$

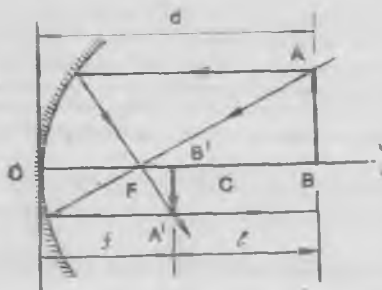
l ва d нинг ифодаларини ботиқ сферик кўзгу формуласига қўйилса, қуйидаги келиб чиқади:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{d} + \frac{1}{Kd} = \frac{K+1}{K} \cdot \frac{1}{d} = \frac{K+1}{K} \cdot \frac{1-K}{l} = \frac{1-K^2}{Kl}.$$

Бундан сферик кўзгунинг фокус масофаси F ни топамиз:

$$F = l \frac{K}{1-K^2} = 40 \text{ см} \frac{1/3}{1-1/9} = 15 \text{ см.}$$

Жавоб: $F=15$ см.

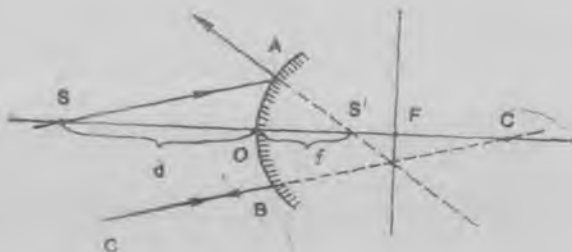


12.15-расм

3-масала. Эгрилик радиуси $R=75$ см бўлган қавариқ сферик кўзгудан $d=150$ см масофада бош оптик ўқда ётган нурланувчи нуқтанинг тасвири кўзгудан қандай f масофада ҳосил бўлиши топилсин ва зарурий чизма чизилсин.

Берилган: $R=75$ см; $d=150$ см.

Топиш керак: $l=?$



12.16- расм.

Ечилиши: Кўзгунинг бош оптик ўқида ётган S нуқтанинг тасвирини чизиш учун шу нуқтадан ўтувчи SA нурдан ва унга параллел бўлган марказий CB нурдан фойдаланамиз. Қавариқ сферик кўзгуда нуқтанинг мавҳум тасвири S' ҳосил бўлади (12.16-расм).

Қавариқ кўзгу мавҳум фокусга ва мавҳум тасвирга эга бўлганлиги учун кўзгу формуласида фокус масофаси F ва кўзгудан тасвиргача бўлган масофа f манфий ишора билан олинади, яъни:

$$-\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}, \text{ бунда } F = \frac{R}{2} \text{ бўлганлиги учун:}$$

$$-\frac{2}{R} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}.$$

Бундан изланаётган f ни аниқлаймиз:

$$f = \frac{k \cdot d}{2d + R} = \frac{75 \text{ см} \cdot 150 \text{ см}}{2 \cdot 150 \text{ см} + 75 \text{ см}} = 30 \text{ см}.$$

Жавоб: $f = 30 \text{ см}.$

Мустақил ечиш учун масалалар

63.1. Эгрилик радиуси $R = 120 \text{ см}$ бўлган ботиқ сферик кўзгунинг бош оптик ўқида кўзгудан $d = 240 \text{ см}$ масофада жойлашган нуқтавий ёруғлик манбаининг тасвири кўзгудан қандай f масофада ҳосил бўлади? Керакли чизмани чизинг.

$$\text{Жавоб: } f = \frac{Rf}{2d - R} = 80 \text{ см}.$$

63.2. Буюмнинг мавҳум тасвири эгрилик радиуси $R = 120 \text{ см}$ бўлган ботиқ сферик кўзгунинг орқасида ундан $f = 40 \text{ см}$ масофада ҳосил булган. Буюмдан кўзгугача бўлган масофа d ни топинг. Керакли чизмани чизинг.

$$\text{Жавоб: } d = \frac{Rf}{2f + R} = 24 \text{ см}.$$

63.3. Эгрилик радиуси $R=120$ см бўлган ботиқ сферик кўзгудан $d=30$ см масофада бўлган буюм тасвирининг катталашиши K ни топинг. Керакли чизмани чизинг.

$$\text{Жавоб: } K = \frac{f}{d} = \frac{R}{R-2d} = 2.$$

63.4. Эгрилик радиуси $R=20$ см бўлган ботиқ сферик кўзгудан $d=12$ см масофада бўйи $h=5$ см бўлган буюм турибди. Кўзгудан тасвиргача бўлган f масофа ва тасвирнинг бўйи H ни топинг. Керакли чизмани чизинг.

$$\text{Жавоб: } f = \frac{Rd}{2d-R} = 60 \text{ см, } H = h \frac{f}{d} = 25 \text{ см.}$$

63.5. Ботиқ сферик кўзгудан $d=30$ см масофада турган буюмнинг тасвири кўзгудан $f=60$ см масофада ҳосил бўлади. Кўзгунинг эгрилик радиуси R ни, фокус масофаси F ни ва оптик кучи D ни топинг.

$$\text{Жавоб: } R = \frac{2fd}{d+f} = 40 \text{ см; } F = \frac{R}{2} = 20 \text{ см; } D = \frac{1}{F} = 5 \text{ дптр.}$$

63.6. Ботиқ сферик кўзгунинг бош оптик ўқида турган буюмнинг ҳақиқий тасвирининг катталашиши $K_1=2$ бўлган. Агар кўзгуни буюм томон $l=6$ см га сурилса, тасвир ҳақиқийлигича қолиб, катталашиш $K_2=5$ бўлган. Кўзгунинг фокус масофаси F ни ва оптик кучи D ни топинг.

$$\text{Жавоб: } F = l \frac{K_1 \cdot K_1}{K_2 - K_1} = 20 \text{ см; } D = \frac{1}{F} = 5 \text{ дптр.}$$

63.7. Ботиқ сферик кўзгу айланма қиррасининг радиуси $r=20$ см. „чуқурлиги“, яъни кесиш текислигидан кўзгунинг қутбигача бўлган масофа $h=40$ см бўлса, кўзгунинг бош фокус масофаси F ни топинг.

$$\text{Жавоб: } F = \frac{r^2 + h^2}{2h} = 25 \text{ см.}$$

63.8. Фокус масофаси $F=-60$ см бўлган қавариқ сферик кўзгунинг қутбидан $d=120$ см масофада жойлашган буюм тасвирининг катталашиши K ни топинг.

$$\text{Жавоб: } K = \frac{f}{d} = \frac{F}{F-d} = \frac{1}{3}.$$

63.9. Бўйи $h=9$ см бўлган буюм эгрилик радиуси $R=80$ см бўлган қавариқ сферик кўзгунинг қутбидан $d=40$ см масофада турибди. Кўзгуда ҳосил бўлган тасвирининг бўйини топинг. Керакли чизмани чизинг.

$$\text{Жавоб: } H = h \frac{R}{R+2d} = 6 \text{ см.}$$

63.10 Қавариқ сферик кўзгудан $d = 20$ см масофада турган буюмнинг тасвири кўзгунинг қутби билан бош фокуснинг коқ ўртасида ҳосил бўлса, кўзгунинг эгрилик радиуси R ни, фокус масофаси F ни ва оптик кучи D ни топинг. Керакли чизмани чизинг.

Жавоб: $R = 2d = 40$ см; $F = -\frac{R}{2} = -20$ см; $D = \frac{1}{F} = -5$ дптр.

63.11. Эгрилик радиуси $R = 1,2$ м бўлган қавариқ сферик кўзгуга тушаётган йиғилувчи нурларининг давоми кўзгунинг орқасидаги бош оптик ўқда $d = 12$ см масофада кесишади. Тушаётган нурлар кўзгудан қайтганда унинг қутбидан қандай f масофада учрашади?

Жавоб: $f = \frac{Rd}{R-2d} = 15$ см.

63.12. Йиғилувчи нурлар дастаси қавариқ кўзгуга шундай тушадики, уларнинг давоми кўзгу орқасидаги ўқда кўзгудан $d = 12$ см масофада кесишади. Улар кўзгудан қайтгач эса кўзгу олдидаги ўқда ундан $f = 20$ см масофада кесишади. Кўзгунинг эгрилик радиуси R ни топинг.

Жавоб: $R = \frac{2fd}{f-d} = 60$ см.

64-§. ЁРУҒЛИКНИНГ СИНИШ ҚОНУНИ. ТЎЛА ИЧКИ ҚАЙТИШ ҲОДИСАСИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Сув ва музнинг абсолют синдириш кўрсаткичлари мос равишда $n_1 = 1,33$ ва $n_2 = 1,31$ бўлса, сувнинг музга нисбатан n_{12} ва музнинг сувга нисбатан n_{21} синдириш кўрсаткичлари топилсин.

Берилган: $n_1 = 1,33$; $n_2 = 1,31$.

Топиш керак: $n_{12} = ?$, $n_{21} = ?$

Ечилиши: Муҳитнинг абсолют синдириш кўрсаткичи:

$$n = \frac{c}{v}$$

Биобарин

$$v = \frac{c}{n}$$

Биринчи муҳитнинг иккинчисига нисбатан ва аксинча иккинчи муҳитнинг биринчисига нисбатан синдириш кўрсаткичлари мос равишда қуйидагиларга тенг бўлади:

$$n_{12} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{c/n_2}{c/n_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{c/n_1}{c/n_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Худди шунингдек, сувнинг музга нисбатан синдириш кўрсаткичи:

$$n_{12} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1,33}{1,31} = 1,015.$$

Музнинг сувга нисбатан синдириш кўрсаткичи эса:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1,31}{1,33} = 0,985.$$

$$n_{12} = 1,015; \quad n_{21} = 0,985$$

2-масала. Шиша ва сувнинг синдириш кўрсаткичлари мос равишда $n_1 = 1,57$ ва $n_2 = 1,33$ бўлса, шиша-сув чегарасида нурнинг тўла ички қайтишининг лимит бурчаги α_0 топилсин.

Берилган: $n_1 = 1,57$; $n_2 = 1,33$.

Топиш керак: $\alpha_0 = ?$

Ечилиши. Шиша-сув чегарасидан ёруғлик нури тўла ички қайтишининг лимит бурчаги α_0 ни сувнинг шишага нисбатан синдириш кўрсаткичининг математик ифодасидан осонгина аниқлаш мумкин:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \alpha_0}{\sin 90^\circ} = \sin \alpha_0.$$

Бундан α_0 ни аниқлаб, ҳисоблаб чиқамиз:

$$\alpha_0 = \arcsin \frac{n_2}{n_1} = \arcsin \frac{1,33}{1,57} = 57^\circ 54'.$$

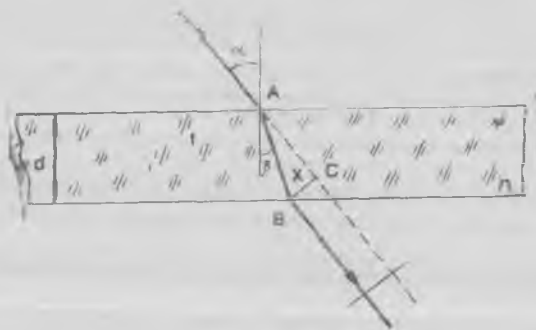
Жавоб: $\alpha_0 = 57^\circ 54'$.

3-масала. Қалинлиги $d = 2$ см бўлган ясси параллел шиша пластинка ($n = 1,5$) га $\alpha = 30^\circ$ бурчак остида тушиб, ўтган нурнинг силжиш масофаси x топилсин.

Берилган: $d = 2$ см; $n = 1,5$; $\alpha = 30^\circ$.

Топиш керак: $x = ?$

Ечилиши: Ясси параллел пластинкадан ўтган нурнинг йўлини схематик равишда чизамиз (12.17-расм). Пластинкадан ўт-



12.17-расм

ган нурнииг силжиши x кагет BC нинг узунлигига тенгдир. Чизмада $\angle CAB = \alpha - \beta$ бұлганлиги учун:

$$x = CB = AB \sin(\alpha - \beta),$$

бундан $AB = d/\cos\alpha$ эканлигини билган ҳолда қуйидагини ола-миз:

$$x = \frac{d \cdot \sin(\alpha - \beta)}{\cos\beta} = d \frac{\sin\alpha \cdot \cos\beta - \sin\beta \cos\alpha}{\cos\beta} = d(\sin\alpha - \cos\alpha \operatorname{tg}\beta).$$

Ёруғликнинг синиш қонунидан $\sin\beta = \frac{\sin\alpha}{n}$ ифодала асосан $\operatorname{tg}\beta$ ни тушиш бурчаги α орқали ифодалаймиз:

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{\sin\beta}{\cos\beta} = \frac{\sin\beta}{\sqrt{1 - \sin^2\beta}} = \frac{\sin\alpha/n}{\sqrt{1 - \sin^2\alpha/n^2}} = \frac{\sin\alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}}.$$

Буни юқоридаги ўрнига қўйиб X ни топамиз:

$$x = d(\sin\alpha - \cos\alpha \frac{\sin\alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}}) = d(1 - \frac{\cos\alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}}) \sin\alpha \approx 0,4 \text{ см.}$$

Жавоб: $x = 0,4$ см.

4-масала. Синдириш сурчаги $\gamma = 40^\circ$ бұлган шиша призма ($n=1,6$) га нур $\alpha_1 = 60^\circ$ бурчак остида тушаётган бўлса, нурнинг призмадан чиққандан кейинги оғиш бурчаги θ топилсин (12.18- расм).

Берилган: $\gamma = 40^\circ$; $\alpha_1 = 60^\circ$; $n = 1,6$.

Топиш керак: $\theta = ?$

Ечилиши: Учбурчакнинг ташқи бурчаги ҳақидаги теоремага асосан $\triangle DEN$ дан қуйидаги тенгликни ёза оламиз:

$$\gamma = \beta_1 + \alpha_2, \quad (1)$$

$\triangle DEN$ дан эса:

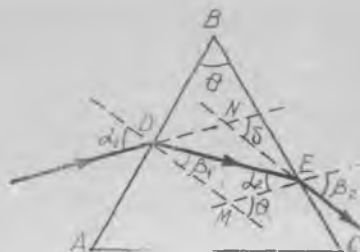
$$\theta = (\alpha_1 - \beta_1) + (\beta_2 - \alpha_2) = \alpha_1 + \beta_2 - (\beta_1 + \alpha_2) = \alpha_1 + \beta_2 - \gamma.$$

Ёруғликнинг синиш қонуни $n = \frac{\sin\alpha_1}{\sin\beta_1}$ дан $\sin\beta_1 = \frac{\sin\alpha_1}{n}$ бў-либ, ундан нурнинг синиш бурчаги β_1 ни аниқлаймиз:

$$\begin{aligned} \beta_1 &= \arcsin \frac{\sin\alpha_1}{n} = \arcsin \frac{\sin 60^\circ}{1,60} = \\ &= \arcsin \frac{0,866}{1,60} = \arcsin 0,5412 = \\ &= 32^\circ 48'. \end{aligned}$$

(1) формуладан DE нурнинг тушиш бурчаги α_2 ни аниқлай-миз:

$$\alpha_2 = \gamma - \beta_1 = 40^\circ - 32^\circ 48' = 7^\circ 12'.$$



12.18- расм

Нурнинг синиш қонуни $\frac{\sin \alpha_1}{\sin \beta_2} = \frac{1}{n}$ дан $\sin \beta_2 = n \sin \alpha_1$. Бинобарин:

$$\beta_2 = \arcsin n \sin \alpha_1 = \arcsin 1,6 \cdot \sin 7^\circ 12' = 11^\circ 30'.$$

Шундай қилиб, $\gamma = 40^\circ$, $\alpha_1 = 60^\circ$ ва $\beta_2 = 11^\circ 30'$ ларни билган ҳолда $\triangle DEN$ дан чиқарилган тенгликдан нурнинг оғиш бурчаги θ нинг қийматини ҳисоблаб чиқамиз:

$$\theta = \alpha_1 + \beta_2 - \gamma = 60^\circ + 11^\circ 30' - 40^\circ = 31^\circ 30'.$$

Жавоб: $\theta = 31^\circ 30'$.

Мустақил ечиш учун масалалар

64.1. Нурнинг тушиш бурчаги $i = 54^\circ$ бўлганда синиш бурчаги $r = 32^\circ$ бўлса, шишанинг абсолют синдириш кўрсаткичи n ни топинг.

Жавоб: $n = \frac{\sin i}{\sin r} = 1,53.$

64.2. Абсолют синдириш кўрсаткичи $n = 1,6$ бўлган моддага $i = 40^\circ$ бурчак остида тушган нурнинг синиш бурчаги r ни топинг.

Жавоб: $r = \arcsin \frac{\sin i}{n} = \arcsin 0,4018 = 23^\circ 42'.$

64.3. Шиша ва олмоснинг абсолют синдириш кўрсаткичлари мос равишда $n_1 = 1,57$ ва $n_2 = 2,42$. Шишанинг олмосга нисбатан ва олмоснинг шишага нисбатан синдириш кўрсаткичлари n_{12} ва n_{21} ни топинг.

Жавоб: $n_{12} = \frac{n_1}{n_2} = 0,65$; $n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = 1,54.$

64.4. Ғоввос нурнинг синиш бурчагини сувда туриб аниқлаганда $r = 30^\circ$ чиққан. Агар сувнинг абсолют синдириш кўрсаткичи $n = 1,33$ бўлса, нурнинг сув сиртига тушиш бурчаги i ни топинг.

Жавоб: $i = \arcsin n \sin r = \arcsin 0,665 = 42^\circ 41'.$

64.5. Ёруғлик нури ҳаводан шиша ($n = 1,5$)га тушганда қайтган ва синган нурлар орасидаги бурчак $\gamma = 90^\circ$ бўлган. Нурнинг тушиш бурчаги i ни ва синиш бурчаги r ни топинг.

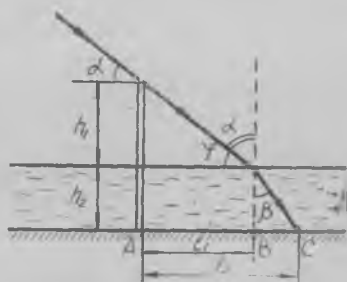
Жавоб: $i = \arctg n = \arctg 1,5 = 56^\circ 19'$; $r = 90^\circ - i = 33^\circ 41'.$

64.6. Сув ($n_1 = 1,33$), шиша ($n_2 = 1,57$) ва олмос ($n_3 = 2,42$) учун тўла ички қайтишнинг лимит бурчаги i_{oi} ни топинг.

Жавоб: $i_{01} = \arcsin \frac{1}{n_1} = \arcsin 0,75 = 48^\circ 36'$; $i_{02} = \arcsin \frac{1}{n_2} = \arcsin 0,637 = 39^\circ 36'$; $i_{03} = \arcsin \frac{1}{n_3} = \arcsin 0,412 = 24^\circ 24'.$

64.7. Агар ёруғлик нури ясси параллел шиша ($n=1.7$) пластинкага $i=53^\circ$ ($\sin i = 0,8$) бурчак остида тушиб, ундан ўтишда $X=2$ см масофага силжиган бўлса, пластинканинг қалинлиги d ни топинг.

Жавоб: $d = \frac{x\sqrt{n^2 - \sin^2 i}}{(\sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \sqrt{1 - \sin^2 i})\sin i} = 4,2$ см.



12.19-расм

64.8. Ёруғлик нури ҳаводан глицерин ($n=1,47$) га тушганда қайтган ва синган нурлар орасидаги бурчак $\gamma=120^\circ$ бўлса, нурнинг тушиш бурчаги i ни топинг.

Жавоб: $\operatorname{tg} i = \frac{\sin(\pi - \gamma)}{\cos(\gamma - 1) + 1} = 0,5773$; $i = \arctg 0,5773 = 29^\circ 59'$.

64.9. Дарё тубига қоқилган қозикнинг сув сатҳидан чиқиб турган қисмининг узунлиги $h_1=1,5$ м. Агар дарёнинг чуқурлиги $h_2=3$ м ва Қуёшнинг бурчак баландлиги $\varphi=30^\circ$ бўлса, қозикнинг сув устидаги ва сув остидаги соясининг узунликлари l_1 ва l_2 ни топинг (12.19-расм).

Жавоб: $l_1 = h_1 \operatorname{ctg} \alpha = 2,6$ м; $l_2 = h_1 \operatorname{ctg} \alpha + h_2 \frac{\sin(90^\circ - \varphi)}{\sqrt{n^2 - \sin^2(90^\circ - \varphi)}}$.

64.10 Синдириш бурчаги $\gamma=45^\circ$ бўйича шиша ($n=1.5$) призмадан ўтган нурнинг тушиш бурчаги α , призмалан чиқиш бурчаги α_2 га тенг бўлса ($\alpha=\alpha_1=\alpha_2$), нурнинг дастлабки йўналишидан оғиш бурчаги θ ни топинг.

Жавоб: $\theta = 2\arcsin[n\sin(\alpha/2)] - \alpha = 25^\circ$

65-§. ЙИҒУВЧИ ВА СОЧУВЧИ ЛИНЗАЛАР

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Абсолют синдириш кўрсаткичи $n=1,5$ бўлган шишадан ясалган, оптик кучи ҳавода $D=+8$ дптр бўлган йиғувчи линза маълум бир суюқликка туширилганда бош фокус масофаси $F_1=-1$ м бўлган сочувчи линзага айланиб қолган бўлса, мазкур суюқликнинг абсолют синдириш кўрсаткичи n , топилсин.

Берилган: $n=1; 5, D=+8$ дптр $=+8$ м⁻¹; $F_1=-1$ м.

Топиш керак: $n=?$

Ечилиши: Абсолют синдириш кўрсаткичи n , бўлган суюқликдаги шиша (n) линзанинг оптик кучи D_1 , унинг нисбий синдириш кўрсаткичи $n_{11} = \frac{n}{n_1}$ ва сиртларининг эгрилик радиуслари

R_1 ва R_2 орқали ифодаланган қуйидаги формуладан аниқланади:

$$D_1 = \frac{1}{F_1} = \left(\frac{n}{n_1} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right).$$

Линзанинг ҳаводаги оптик кучи D эса қуйидагига тенг бўлади:

$$D = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right).$$

Иккинчи тенгликни биринчи тенгликка ҳадма-ҳад бўлиб, қуйидаги ифодани оламиз:

$$F_1 \cdot D = \frac{n-1}{n/n_1-1} : F_1 D n - F_1 D n_1 = n_1(n-1).$$

Бундан изланаётган суюқликнинг абсолют синдириш кўрсаткичи n_1 ни аниқлаб, унинг қийматини ҳисоблаб чиқамиз:

$$n_1 = n \frac{F_1 D}{F_1 D + n - 1} = 1,5 \frac{+8 \text{ м}^{-1} \cdot (-1 \text{ м})}{8 \text{ м}^{-1}(-1 \text{ м}) + 1,6 - 1} = 1,6.$$

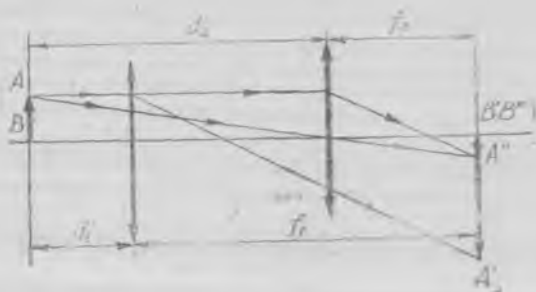
Жавоб: $n_1 = 1,6$.

2-масала. Шамдан экрангача бўлган масофа $L = 100$ см. Улар орасига жойлаштирилган йиғувчи линза икки вазиятда шамнинг аниқ тасвирини ҳосил қилади. Агар линзанинг икки вазият орасидаги масофа $l = 20$ см бўлса, линзанинг фокус масофаси F топилсин.

Берилган: $L = 100$ см $= 1$ м; $l = 20$ см $= 0,2$ м.

Топиш керак: $F = ?$

Ечилиши: Масаланинг ечимини топиш учун унинг шартига мос келувчи чизмани чизамиз (12.20-расм). Чизмада d_1 ва f_1 , d_2 ва f_2 лар мос равишда линзанинг иккала вазиятидаги шам ва линза ҳамда линза ва экран орасидаги масофалардир. Бу



12.20-расм

икки вазият учун линза формулаларидан қуйидагиларни ёзамиз:

$$\frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1} = \frac{1}{F} \text{ бўлиб, } f_1 d_1 = F(d_1 + f_1) \text{ бўлади;}$$

$$\frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F} \text{ бўлиб, } f_2 d_2 = F(d_2 + f_2) \text{ бўлади.}$$

Бундан ташқари, чизмадан $d_1 + f_1 = d_2 + f_2 = L$ бўлиб, ундан $f_1 = L - d_1$, $f_2 = L - d_2$ келиб чиқади. f_1 ва f_2 ларнинг ифодаларини юқоридаги ўрнига қўйилса, қуйидаги квадрат тенгламалар келиб чиқади:

$$d_1^2 - Ld_1 + FL = 0 \text{ ва } d_2^2 - Ld_2 + FL = 0.$$

Бу квадрат тенгламаларда $d_2 > d_1$, эканлиги эътиборга олинса, унинг қуйидаги илдиэлари келиб чиқади:

$$d_1 = \frac{L}{2} - \sqrt{\frac{L^2}{4} - FL} \text{ ва } d_2 = \frac{L}{2} + \sqrt{\frac{L^2}{4} - FL}.$$

Масала шартига биноан $l = d_2 - d_1$, бўлганлиги учун

$$l = d_2 - d_1 = \left(\frac{L}{2} + \sqrt{\frac{L^2}{4} - FL} \right) - \left(\frac{L}{2} - \sqrt{\frac{L^2}{4} - FL} \right) = 2\sqrt{\frac{L^2}{4} - FL}$$

Бу тенгликни квадратга кўтарилса:

$$l^2 = 4 \left(\frac{L^2}{4} - FL \right) \text{ ёки } \frac{l^2}{4} = \frac{L^2}{4} - FL.$$

Ва ниҳоят бу ифодадан линзанинг фокус масофаси F ни аниқлаймиз:

$$F = \frac{L^2 - l^2}{4L} = \frac{1 \text{ м}^2 - 0,04 \text{ м}^2}{4 \cdot 1 \text{ м}} = 24 \text{ см.}$$

Жавоб: $F = 24$ см.

3- масала. Абсолют синдириш кўрсаткичи $n = 1,6$ бўлган шишадан ясалган, сиртларининг эгрилик радиуслари мос равишда $R_1 = 0,2$ м ва $R_2 = 0,6$ м бўлган иккала томони ботиқ линза ёрдамида буюмнинг 10 марта кичиклашган $(K = \frac{1}{10})$ тасвири ҳосил қилинган. Линзанинг оптик кучи D , бош фокус масофаси F ҳамда предметдан линзагача бўлган d ва линзадан тасвиргача бўлган f масофалар топилсин. Зарур булган чизма чизилсин.

Берилган: $n = 1,6$; $R_1 = 0,2$; $R_2 = 0,6$ м; $K = \frac{1}{10} = 0,1$.

Топиш керак: $D = ?$ $F = ?$ $d = ?$ $f = ?$

Ечилиши: Линзанинг оптик кучи D ни қуйидаги формуладан ҳисоблаб топиш мумкин:

$$D = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = -(1,6 - 1) \cdot \left(\frac{1}{0,2 \text{ м}} + \frac{1}{0,6 \text{ м}} \right) = 4 \text{ дптр.}$$

Линзанинг бош фокус масофаси F оптик кучи D нинг тескари ифодасига тенгдир:

$$F = \frac{1}{D} = \frac{1}{-4 \text{ дптр}} = -\frac{1}{4 \text{ м}^{-1}} = -25 \text{ см.}$$

Линзанинг чизиқли катталаштириши формуласи $K = \frac{f}{d}$ дан келиб чиқадиган ифодани икки томони ботиқ линза формуласи $\frac{1}{d} - \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$ га қўямиз:

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{Kd} = \frac{1}{F} \text{ ёки } \frac{K-1}{Ka} = \frac{1}{F}.$$

Бундан буюмдан линзагача бўлган масофа d ни аниқлаймиз:

$$d = F \frac{K-1}{K} = -0,25 \text{ м} \frac{0,1-1}{0,1} = 2,25 \text{ м.}$$

Линзанинг катталаштиришининг ифодасидан линзадан тасвиргача бўлган f масофанинг қийматини ҳисоблаб чиқамиз:

$$f = Kd = 0,1 \cdot 2,25 \text{ м} = 0,225 \text{ м.}$$

Предметнинг ботиқ линзадаги тасвирини чизиш учун бош оптик ўққа параллел ва линзанинг оптик марказидан ўтувчи нурлардан фойдаланамиз (12.21-расм). Бунда AB буюмнинг линзада ҳосил бўлган тасвири мавҳум, тўғри ва кичиклашган бўлади.

Жавоб: $D = -4$ дптр; $F = 25$ см; $d = 2,25$ м; $f = 0,225$ м.

4-масала. Абсолют синдириш кўрсаткичи $n = 1,5$ бўлган шишадан ясалган, эгрилик радиуси $R = 20$ см булган икки ёқлама қавариқ линзанинг оптик марказидан $d = 30$ см масофада нурланувчи S нуқта жойлашган. Линзанинг орқа томони кумушланган (12.22-расм). Ҳосил бўлган оптик системанинг бош фокус масофаси F ва оптик системадан тасвиргача бўлган масофа f топилсин.



12.21. расм



12.22- расм

Берилган: $n = 1,5$; $R = 20$ см; $d = 30$ см.

Топиш керак: $F = ?$

Ечилиши. Орқа томони кумушланган линзани иккиёқлама қавариқ линза ва ботиқ кўзгудан тузилган оптик система деб қараш мумкин. Бу системага нурлар дастаси тушганда линзадан ўтади, ботиқ сферик кўзгудан қайтади ва яна линзадан ўтади. Иккиёқлама қавариқ линза ва ботиқ сферик кўзгунинг оптик кучлари мос равишда $D_A = (n - 1) \frac{2}{R}$ ва $D_K = \frac{2}{R}$ бўлганлиги учун, оптик системанинг оптик кучи қуйидагига тенг бўлади:

$$D = D_L + D_K + D_L = 2D_L + D_K = 2(n - 1) \frac{2}{R} + \frac{2}{R} = \frac{4n - 2}{R}.$$

Бундан оптик системанинг бош фокус масофаси F ни аниқлаймиз:

$$F = \frac{R}{4n - 2} = \frac{20 \text{ см}}{4 \cdot 1,5 - 2} = 5 \text{ см.}$$

Биобарин, оптик система бош фокус масофаси $F = +5$ см бўлган ботиқ сферик кўзгуга эквивалент экан. У ҳолда кўзгу формуласи $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$ дан кўзгудан тасвиргача бўлган масофа f ни топиш мумкин:

$$f = d \frac{F}{d - F} = 30 \text{ см} \cdot \frac{5 \text{ см}}{30 \text{ см} - 5 \text{ см}} = 6 \text{ см.}$$

Жавоб: $F = 5$ см, $f = 6$ см.

Мустақил ечиш учун масалалар

65.1. Абсолют синдириш кўрсаткичи $n = 1,5$ бўлган шишадан ясалган, сиртларининг эгрилик радиуслари мос равишда $R_1 = 25$ см ва $R_2 = 50$ см бўлган иккала томони қавариқ линзанинг оптик кучи D ни топинг.

$$\text{Жавоб: } f = d \frac{F}{d - F} = 30 \text{ см} \cdot \frac{5 \text{ см}}{30 \text{ см} - 5 \text{ см}} = 3 \text{ дптр.}$$

65.2. Абсолют синдириш кўрсаткичи $n = 1,5$ бўлган шишадан ясалган, эгрилик радиуси $R = 12$ см бўлган ясси-қавариқ линзанинг бош фокус масофаси F ҳаво ($n_1 = 1$) да, ацетон ($n_2 = 1,36$) да ва анилин ($n_3 = 1,59$) да қандай бўлади?

$$\text{Жавоб: } F_1 = \frac{R}{(n/n_1 - 1)} = 24 \text{ см; } F_2 = \frac{R}{(n/n_2 - 1)} = 116 \text{ см;}$$

$$F_3 = \frac{R}{(n/n_3 - 1)} = -212 \text{ см.}$$

65.3. Абсолют синдириш кўрсаткичи $n = 1,5$ бўлган шишадан ясалган ботиқ-қавариқ линзанинг бош фокус масофаси $F = 24$ см. Бу линзанинг эгрилик радиусларининг бири R_1 , иккинчиси R_2 дан икки марта кичик бўлса, уларнинг қийматларини топинг.

$$\text{Жавоб: } R_1 = F \frac{n-1}{2} = 6 \text{ см, } R_2 = -2R_1 = -12 \text{ см.}$$

65.4. Бош фокус масофаси $F = 15$ см бўлган йиғувчи линзадан $d = 20$ см масофада, бош оптик ўқдан $h = 15$ см четда турган S нурланувчи нуқтанинг тасвири линзадан қандай f масофада ва бош оптик ўқда қандай H оралиқда ҳосил бўлишини топинг.

$$\text{Жавоб: } f = d \frac{F}{d-F} = 60 \text{ см, } H = h \frac{f}{d} = 45 \text{ см.}$$

65.5. Бош фокус масофаси $F = 40$ см бўлган иккиёқлама қавариқ линзадан $d = 60$ см масофада унинг бош оптик ўқида турган ёруғлик манбаи S нинг тасвири S' линзадан қандай f масофада ҳосил бўлишини геометрик ясаш йўли билан топинг ҳамда натижани ҳисоблаш йўли билан текширинг.

$$\text{Жавоб: } f = d \frac{F}{d-F} = 120 \text{ см.}$$

65.6. Абсолют синдириш кўрсаткичи $n = 1,5$ бўлган шишадан ясалган, ҳар қайси томонининг эгрилик радиуси $R = 7$ см дан бўлган иккиёқлама қавариқ линза водород сульфид ($n_1 = 2,885$) га ботирилганда, унинг бош фокус масофаси F қандай бўлади?

$$\text{Жавоб: } F = \frac{R}{2\left(\frac{n}{n_1} - 1\right)} = -17 \text{ см.}$$

65.7. Оптик кучи $D = -10$ дптр булган иккиёқлама ботиқ сочувчи линзадан $d = 25$ см масофада бош оптик ўқда турган нурланувчи S нуқтанинг тасвири S' линзадан қандай f масофада ҳосил бўлишини геометрик ясаш йўли билан топинг ҳамда натижани ҳисоблаш йўли билан текширинг.

$$\text{Жавоб: } f = \frac{d}{Dd-1} = -0,06 \text{ м} = 6 \text{ см.}$$

65.8. Бош фокус масофаси $F = 20$ см бўлган иккиёқлама қавариқ линза ёрдамида буюмнинг $K = 5$ марта катталашган ҳақиқий ҳамда мавҳум тасвири ҳосил қилинган бўлса, буюмдан линзагача бўлган масофалар d_1 ва d_2 ни топинг. Зарурий чизма чизинг.

$$\text{Жавоб: } d^3 = F \frac{K+1}{K} = 24 \text{ см, } d_2 = F \frac{K-1}{K} = 16 \text{ см.}$$

65.9. Баландлиги $h = 12$ см бўлган буюм бош фокус масофаси $F = -30$ см бўлган иккиёқлама ботиқ сочувчи линзадан $d = 15$ см масофада жойлашган. Линзадан тасвиргача бўлган масофа f ва тасвирнинг баландлиги H ни топинг. Зарурий чизмани чизинг.

$$\text{Жавоб: } f = \frac{d \cdot F}{d - F} = -10 \text{ см, } H = h \frac{|f|}{d} = 8 \text{ см.}$$

65.10. Иккиёқлама ботиқ сочувчи линзанинг олд томонига $d = 60$ см масофада жойлаштирилган буюмнинг тўрт марта кичиклашган ($K = \frac{1}{4}$) тасвири ҳосил бўлган. Шу линзанинг бош фокус масофаси F ни ва оптик кучи D ни топинг.

$$\text{Жавоб: } l = d \frac{K}{K - 1} = -20 \text{ см, } D = \frac{1}{F} = -5 \text{ дптр.}$$

65.11. Иккиёқлама қавариқ йиғувчи линзадан бирор d масофада турган буюмнинг маъхум тасвири линзадан $f_1 = 2$ м масофада ҳосил бўлган. Агар биринчи линзага оптик кучи $D_1 = +3$ дптр бўлган иккинчи линза жипслаб ўрнатилса, буюмнинг тасвири линза системасидан қандай f_2 масофада ҳосил бўлади?

$$\text{Жавоб: } f_2 = \frac{f_1}{D_2 f_2 - 1} = 0,4 \text{ м} = 40 \text{ см.}$$

65.12. Объектив биринчисининг бош фокус масофаси $F_1 = 12$ см бўлган иккиёқлама қавариқ, иккинчисининг бош фокус масофаси $F_2 = -9$ см бўлган иккиёқлама ботиқ; ва учинчисининг бош фокус масофаси $F_3 = 6$ см бўлган иккиёқлама қавариқ линзалардан тузилган. Объективнинг бош фокус масофаси F ни топинг.

$$\text{Жавоб: } F = \frac{F_1 F_2 F_3}{F_1 F_2 + F_2 F_3 + F_1 F_3} = 7,2 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 7,2 \text{ см.}$$

66-§. ОПТИК АСБОБЛАР

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Проекцияда аппарат объективининг оптик кучи $D = 8$ дптр, объективдан экрангача бўлган масофа эса $f = 7$ м бўлса, проекцион аппаратнинг катталаштириши K топилсин. Агар диапозитивдаги расмнинг баландлиги $h = 36$ мм бўлса, экранда ҳосил бўлган тасвирининг баландлиги H нимага тенг бўлади?

$$\text{Берилган: } D = 8 \text{ дптр} \Rightarrow 8 \text{ м}^{-1}; f = 7 \text{ м}; h = 36 \text{ мм} = 36 \times 10^{-3} \text{ м.}$$

Топиш керак: $K = ? H = ?$

Ечилиши: Проекцион аппаратда катталашган тасвир ҳосил



12.23-расм

бўлиши учун диапозитив объективнинг бош фокуси F ва иккиланган фокус $2F$ орасида жойлашган бўлиши керак (12.23-расм).

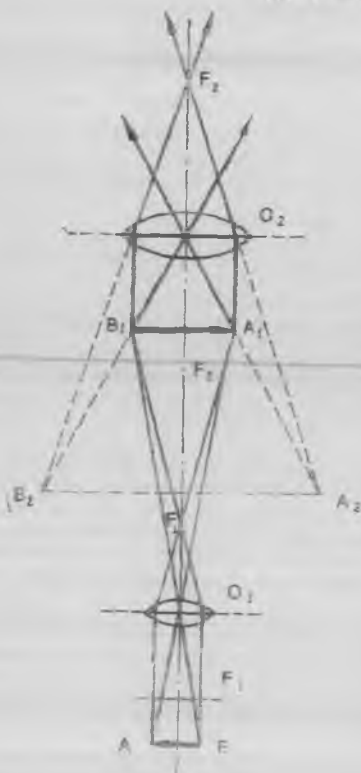
Проекцион аппаратнинг катталаштириши K ни ва тасвирнинг баландлиги H ни топиш учун аввало линзанинг оптик кучини топиш формуласи $D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$ дан $d = \frac{f}{Df - 1}$ бўлганлиги учун K катталаштиришни аниқлаб, ҳисоблаб чиқамиз:

$$K = \frac{f}{f(Df - 1)} = Df - 1 = 41.$$

Тасвирнинг катталиги H ни ҳам осонгина топиш мумкин:

$$H = Kh = 41 \cdot 36 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 1,476 \text{ м}.$$

Жавоб: $K = 41$, $H = 1,476 \text{ м}$.



12.24-расм

2-масала. Микроскоп объективининг фокус масофаси $F_1 = 5 \text{ мм}$, объектив билан окуляр орасидаги масофа эса $l = 16 \text{ см}$. Агар микроскопнинг катталаштириши $K = 200$ бўлса, унинг окулярининг катталаштириши K_2 топилсин.

Берилган: $F_1 = 5 \text{ мм} = 5 \times 10^{-3} \text{ м}$; $l = 16 \text{ см} = 16 \cdot 10^{-2} \text{ м}$; $K = 2000$; $L = 25 \text{ см} = 0,25 \text{ м} = 25 \cdot 10^{-2} \text{ м}$.

Топиш керак: $K_2 = ?$

Ечилиши: Микроскоп объектив деб аталувчи қисқа фокусли линза ва окуляр деб аталувчи узун фокусли линзадан тузилган бўлиб, ундаги нурнинг йўли 12.24-расмда тасвирланган.

Микроскопнинг катталаштириши K объектив ва окуляри-

нинг катталаштиришлари K_1 ва K_2 нинг кўпайтмасига тенгдир, яъни:

$$K = K_1 \cdot K_2,$$

бунда

$$K_1 = \frac{f_1}{d_1}, \quad K_2 = \frac{f_2}{d_2} = \frac{L_0}{d_2}.$$

Иккинчи томондан, линза формуласи ва чизмадан қуйидагини ёза оламиз:

$$\frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1} = \frac{1}{f_1} \quad \text{ва} \quad l_1 + d_2 = l.$$

Бу бешта тенгламалар системасини ечиб, ундан окулярнинг катталаштириши K_2 аниқлаймиз ва уни ҳисоблаб чиқамиз:

$$K_2 = \frac{L_0 + Kf_1}{l - f_1} = \frac{25 \cdot 10^{-2} \text{ м} + 200 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}}{16 \cdot 10^{-2} \text{ м} - 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}} = \frac{125 \cdot 10^{-2}}{15,5 \cdot 10^{-2}} = 8.$$

Жавоб: $K_2 = 8$.

3-масала. Инсоннинг кўзи оптик система бўлиб (12.25-расм), у шаффоф мугуз (шоҳ) парда ($D_1 = 40$ дптр) ва гавҳари δ ($D_2 = 20$ дптр) дан ташкил топган. Бу маълумотлардан фойдаланиб, соддалаштирилган бу кўзнинг тахминий фокус масофаси F топилсин.

Берилган: $D_1 = 40$ дптр $= 40 \text{ м}^{-1}$; $D_2 = 20$ дптр $= 20 \text{ м}^{-1}$.

Топиш керак: $F = ?$

Ечилиши: Кўзнинг оптик кучи D шоҳ парда ва гавҳарнинг оптик кучлари D_1 ва D_2 нинг йиғиндисига тенг, яъни $D = D_1 + D_2$. Кўзнинг фокус масофаси F оптик кучи D нинг тескари ифодасига тенгдир:

$$F = \frac{1}{D} = \frac{1}{D_1 + D_2} = \frac{1}{40 \text{ м}^{-1} + 20 \text{ м}^{-1}} = 16 \text{ мм}.$$

Жавоб: $F = 16$ мм.

4-масала. Яқинви кўрадиган ўқувчи китобни кўзойнакسىз кўзини зўриқтирмасдан $d_1 = 12,5$ см масофада ўқий олади. Ўқувчи китобни нормал кўзнинг энг яхши кўриш масофаси ($L_0 = 25$ см) да ўқиши учун тақиши керак бўлган кўзойнакнинг оптик кучи D топилсин.

Берилган: $d_1 = 12,5 \text{ см} = 0,25 \text{ м}$; $L_0 = 25 \text{ см} = 0,25 \text{ м}$.



12.25- расм

1 опиш керак: $D = ?$

Ечилиши: Яқинни кўрувчи ўқувчи кўзининг энг яхши кўриш масофаси $d_1 = 12,5$ см бўлиб, нормал кўзники эса $L_0 = 25$ см дир. Яқинни кўрадиган ўқувчи кўзойнак тақиб, китобни L_0 масофада ўқисин. Агар кўзойнаксиз ўқувчи кўзининг оптик кучи D_1 ва у тақиши зарур бўлган кўзойнакнинг оптик кучи D бўлса, қуйидаги тенгламаларни ёзамиз:

$$\frac{1}{d_1} + \frac{1}{f} = D_1 \quad \text{ва} \quad \frac{1}{L_0} + \frac{1}{f} = D_1 + D.$$

Ҳосил бўлган тенгламалар системасини ечиб, D ни топамиз ва ҳисоблаб чиқамиз:

$$D = \frac{1}{L_0} - \frac{1}{d_1} = \frac{1}{0,25 \text{ м}} - \frac{1}{0,125 \text{ м}} = -4 \text{ дптр.}$$

Жавоб: $D = -4$ дптр.

Мустақил ечиш учун масалалар

66.1. Фокус масофалари $F_1 = 5$ см ва $F_2 = 5$ мм бўлган лупаларнинг нормал кўриш масофаси $L_0 = 25$ см га аккомодацияланган (мослашган) кўз учун катталаштиришларни K_1 ва K_2 ни топинг ҳамда зарурий чизмани чизинг.

Жавоб: $K_1 = \frac{L_0}{F_1} = 5$ марта, $K_2 = \frac{L_0}{F_2} = 50$ марта.

66.2. Абсолют синдириш кўрсаткичи $n = 1,5$ бўлган шишадан ясалган, эгрилик радиуслари $R = 0,5$ см дан бўлган икки ёқлама қавариқ линза лупа сифатида ишлагилмоқда. Нормал кўриш масофаси $L_0 = 25$ см га мослашган аккомодацияланган кўз учун лупанинг катталаштириши K ни топинг.

Жавоб: $K = \frac{2(n-1)L_0}{R} = 50$ марта

66.3. Ўлчами $h = 36$ мм бўлган диапозитив экранга $H = 3$ м ўлчамда проекцияланади. Экрандан $f = 6$ м масофада турган проекцион аппарат объективининг оптик кучи D ни топинг.

Жавоб: $D = \frac{H+h}{hf} = 14$ дптр.

66.4. Проекцион аппарат объективининг фокус масофаси $F = 15$ см. Ўлчами $h = 12$ см бўлган диапозитивнинг экранда $H = 60$ см ўлчамли тасвирини ҳосил қилиш учун диапозитивни объективдан қандай d масофада ўрнатиш керак?

Жавоб: $d = F \left(\frac{h}{H} + 1 \right) = 18$ см.

66.5. Эпидоскопдан экрангача бўлган масофа $l = 3$ м. Агар баландлиги $h = 5$ см бўлган расмнинг экранда ҳосил булган тасвирининг баландлиги $H = 1,2$ м бўлса, эпидоскоп объективининг фокус масофаси F ни топинг.

$$\text{Жавоб: } F = f \frac{h}{H + h} = 12 \text{ см.}$$

66.6. Микроскоп объективининг фокус масофаси $F_1 = 3$ мм, тубусининг узунлиги (объективнинг орқа фокусидан окулярнинг олд фокусигача бўлган масофа) $\delta = 15$ см бўлиб, микроскопнинг катталаштириши $K = 2500$. Микроскоп окулярининг фокус масофаси F_2 ни топинг ва микроскопдаги нурнинг йўлини чизинг.

$$\text{Жавоб: } F_2 = \frac{\delta}{F_1} \cdot \frac{L_0}{K} = 0,5 \text{ см} = 5 \text{ мм.}$$

66.7. Объективи ва окулярининг фокус масофалари мос равишда $F_1 = 4$ мм ва $F_2 = 5$ см, объективдан окуляргача бўлган масофа $\delta = 21,4$ см булган микроскопнинг катталаштириши K ни топинг.

$$\text{Жавоб: } K = K_1 \cdot K_2 = \frac{\delta}{F_1} \cdot \frac{L_0}{F_2} = \frac{[\delta - (F_1 + F_2)]}{F_1} \cdot \frac{L_0}{F_2} = 200 \text{ марта.}$$

66.8. Микроскоп окулярининг фокус масофаси $F_2 = 5$ см, объективи ва окуляри орасидаги масофа эса $l = 20$ см. Агар микроскопнинг катталаштириши $K = 500$ бўлса, объективининг фокус масофаси F_1 ни топинг.

$$\text{Жавоб: } F_1 = L_0 \frac{l - F_2}{K \cdot F_2} = 15 \text{ мм.}$$

66.9. „Зенит“ фотоаппаратининг бош фокус масофаси $F = 50$ мм, плёнкасидаги кадрнинг узунлиги $H = 36$ мм бўлса, баландлиги $h = 90$ м бўлган бинонинг суратини қандай узоқликда туриб олиш керак? Фотоаппаратдаги нурнинг йўлини чизинг.

$$\text{Жавоб: } d = F \cdot \frac{H + h}{H} = 125 \text{ м.}$$

66.10. $d = 5$ км баландликда учиб бораётган самолётдан объектнинг расмини $H:h = 1:20000$ масштабда олиш учун ишлатиладиган фотоаппарат объективининг бош фокус масофаси F қандай бўлиши керак?

$$\text{Жавоб: } F = \frac{d}{h/H + 1} = 25 \text{ см.}$$

66.11. Узоқдан кўрувчи одам китобни кўздан $d_1 = 80$ см дан кам бўлмаган масофада кўзини зўриқтирмай ўқий олади. Одам нормал кўриш масофаси $L_0 = 25$ см да китобни ўқий

олиш учун тақиши зарур бўлган кўзойнакнинг оптик кучи D ни топинг.

$$\text{Жавоб: } D = \frac{1}{L_0} - \frac{1}{d} = +2,75 \text{ дптр.}$$

66 12. Кўзининг аккомодация чегаралари $d_1 = 16$ см ва $d_2 = 80$ см бўлган яқинни кўрувчи одам кўзойнаги билан узоқдаги буюмларни жуда яхши кўра олади. У шу кўзойнаги билан китобни кўзини зўриқтирмасдан ўқий оладиган китобгача бўлган энг қисқа масофа d'_1 ни топинг.

$$\text{Жавоб: } d'_1 = \frac{d_1 d_2}{d_2 - d_1} = 20 \text{ см.}$$

ХIII б о б. ЁРУҒЛИКНИНГ ТЎЛҚИН ВА КВАНТ ТАБИАТИ

● Ёруғликнинг вакуумдаги тўлқин узунлиги λ_0 тарқалиш тезлиги c ва частотаси ν ёки даври T орқали қуйидаги муносабатдан аниқланади:

$$\lambda_0 = \frac{c}{\nu} = cT. \quad (\text{XIII.1})$$

● Ёруғликнинг синдириш кўрсаткичи n бўлган мухитдаги тарқалиш тезлиги v ва тўлқин узунлиги λ қуйидагига тенг:

$$v = \frac{c}{n} \text{ ва } \lambda = \frac{\lambda_0}{n}, \quad (\text{XIII.2})$$

бунда λ_0 — ёруғликнинг вакуумдаги тўлқин узунлиги.

● Ёруғлик нурининг оптик йўли L ўтган масофаси l нинг мухитнинг синдириш кўрсаткичи n га кўпайтмасига тенг:

$$L = nl. \quad (\text{XIII.3})$$

● Икки когерент тўлқиннинг фазалари фарқи $\Delta\varphi$ ва йўллари фарқи Δl ўзаро қуйидаги боғланишга эга:

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{\Delta l}{\lambda}. \quad (\text{XIII.4})$$

бунда λ — ёруғликнинг тўлқин узунлиги.

● Учрашган когерент нурларнинг оптик йўллари фарқи Δl жуфт ярим тўлқин узунлиги ($\lambda/2$) га тенг бўлганда интерференция кучаяди, яъни интерференциянинг қуйидаги кучайиш шarti бажарилади:

$$\Delta l = 2k \frac{\lambda}{2}, \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (\text{XIII.5})$$

Учрашган когерент нурларнинг оптик йўллари фарқи Δl тоқ ярим тўлқин узунлиги ($\lambda/2$) га тенг бўлса, интерференция

сусаяди, яъни интерференциянинг қуйидаги сусайиш шарти бажарилади:

$$\Delta l = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (\text{XIII.5a})$$

бунда k — интерференция йўлларининг тартиб номери.

● Ньютон ҳалқаларида қайтган ёруғлик нури учун интерференциянинг кучайиш, ўтган ёруғлик нурининг эса сусайиш шарти:

$$r_k = \sqrt{(2k - 1) R \frac{\lambda}{2}}. \quad (\text{XIII.6})$$

Аксинча, қайтган нурдаги интерференциянинг сусайиш шарти ўтган нур учун кучайиш шартидир, яъни:

$$r_k = \sqrt{2kR \frac{\lambda}{2}} = \sqrt{kR\lambda}. \quad (\text{XIII.6a})$$

Бу ерда λ — ёруғлик тўлқини узунлиги, R — линзанинг эгрилик радиуси, r_k — интерференцион ҳалқанинг радиуси, k — интерференцион ҳалқанинг тартиб номери.

● Монохроматик ($\lambda = \text{const}$) параллел нурлар дастаси даврий равишда такрорланувчи тирқишлар — дифракцион панжарага перпендикуляр тушаётганда ҳосил бўлган дифракцион спектрнинг ҳолати қуйидаги формуладан аниқланади:

$$(a + b) \sin \varphi = k\lambda \quad \text{ёки} \quad d \sin \varphi = k\lambda, \quad (\text{XIII.7})$$

бунда a — тирқишнинг кенглиги, b — тўсиқнинг кенглиги, $d = (a + b)$ — панжара доимийси; бинобарин, дифракцион панжаранинг l узунлигида N тирқиш жойлашган бўлса:

$$d = \frac{l}{N}. \quad (\text{XIII.7a})$$

● Ёруғлик квант ёки фотон энергияси:

$$\varepsilon = h\nu = m_{\phi} c^2 = \frac{hc}{\lambda}, \quad (\text{XIII.8})$$

бунда $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Ж · с — Планк доимийси, ν — ёруғлик нурининг частотаси, λ — унинг тўлқин узунлиги, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с — ёруғликнинг вакуумдаги тезлиги, m_{ϕ} — фотоннинг массаси.

● Фотоннинг массаси

$$m_{\phi} = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{h}{\lambda c}. \quad (\text{XIII.9})$$

● Фотоннинг импульси:

$$p_{\phi} = m_{\phi} \cdot c = \frac{h\nu}{c} = \frac{\varepsilon}{c} = \frac{h}{\lambda}. \quad (\text{XIII.10})$$

Фотоэффект ҳодисаси учун Эйнштейн формуласи:

$$h\nu = A + \frac{m\nu_{\max}^2}{2}, \quad (\text{XIII.11})$$

бунда A — электроннинг металлдан чиқиш иши, m — электроннинг массаси, ν_{\max} — электроннинг металлдан учиб чиқиш тезлиги.

● Фотоэффектнинг қизил чегарасида фотоэлектроннинг тезлиги $\nu = 0$ бўлганлиги учун, қизил чегарага мос келувчи частота ν_0 ёки тўлқин узунлиги λ_0 қуйидаги формулалардан аниқланади:

$$\nu_0 = \frac{A}{h} \text{ ёки } \lambda_0 = \frac{c}{\nu_0} = \frac{hc}{A}. \quad (\text{XIII.12})$$

67-§. ЁРУҒЛИКНИНГ ТЎЛҚИН ТАБИАТИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Сувнинг сиртыга тўлқин узунлиги $\lambda_0 = 700$ нм бўлган қизил ёруғлик нурлари тушмоқда. Сувнинг қизил ёруғлик нурлари учун абсолют синдириш кўрсаткичи $n = 1,331$. Бу нурнинг сувдаги тўлқин узунлиги λ топилсин. Сув тубида турган киши қандай рангли ёруғлик нурини кўради? Ёруғликнинг вакуумда тарқалиш тезлиги $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Берилган: $\lambda_0 = 700$ нм $= 7 \cdot 10^{-7}$ м, $n = 1,331$, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Топиш керак: $\lambda = ?$

Ечилиши: Ёруғлик нурининг вакуумдаги тўлқин узунлиги $\lambda_0 = c\nu$ бўлиб, бунда c — ёруғликнинг тарқалиш тезлиги, ν эса унинг частотаси. Ёруғлик нури бир муҳитдан бошқа муҳитга ўтганда унинг частотаси ўзгармай қолиб, тарқалиш тезлиги ва тўлқин узунлиги ўзгаради. Агар ёруғлик нурининг сувдаги тарқалиш тезлиги v ва тўлқин узунлиги λ бўлса, $\lambda = \frac{v}{\nu}$ бўлади,

бунда $v = \frac{c}{n}$ ва $\nu = \frac{c}{\lambda_0}$ бўлганлиги учун, қуйидаги натижа келиб чиқади:

$$\lambda = \frac{v}{\nu} = \frac{c/n}{c/\lambda_0} = \frac{\lambda_0}{n} = \frac{7 \cdot 10^{-7} \text{ м}}{1,331} = 5,26 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 526 \text{ нм}.$$

Жавоб: $\lambda = 526$ нм бу ёруғлик нури қизил эмас, яшил нур бўлади. Лекин сув тубидаги киши яшил нурни эмас қизил нурни кўради, чунки инсон кўзининг рангни сезиши ёруғликнинг тўлқин узунлигига эмас, ёруғлик тўлқинининг частотасига боғлиқдир.

2-масала. Инсон бинафша нурнинг тўлқин узунлиги $\lambda_0 = 400$ нм дан кичик ($\lambda < \lambda_0$) тўлқин узунликли ультрабинафша нурларни кўра олмаслигига сабаб нима?

Жавоб: Кўзнинг тавҳари ультрабинафша нурларни ютиши сабабли, ультрабинафша нурлар кўзнинг тўр пардасига етиб бора олмайди. Шунинг учун ҳам инсон кузига ультрабинафша нурлар кўринмайди.

3-масала Қуёш спектридаги Фраунгофер чизиқларининг қандай ҳосил бўлишини тушунтиринг.

Жавоб: Фраунгофер чизиқлари Қуёш спектрининг ютилиш чизиқларидир. Қуёш нурининг туташ спектрлари турли моддаларнинг буғлари мавжуд бўлган атмосферадан ўтганда бугсимон моддалар характерли нурланиш спектрларига мос келган тўлқин узунлиқдаги ёруғликларни ютиши сабабли спектрда қора чизиқлар — ютилиш спектрлари ҳосил бўлади.

Мустақил ечиш учун масалалар

67.1. Натрийнинг сариқ нурларининг ҳаводаги тўлқин узунлиги $\lambda_0 = 589$ нм. Бу нур учун сувнинг абсолют синдириш кўрсаткичи $n = 1,33$ бўлса, унинг сувдаги тарқалиш тезлиги v ни ва тўлқин узунлиги λ_0 ни топинг. Ёруғликнинг вакуумда тарқалиш тезлиги $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

$$\text{Жавоб: } v = \frac{c}{n} = 2,26 \cdot 10^8 \text{ м/с; } \lambda = \frac{\lambda_0}{n} = 443 \text{ нм.}$$

67.2. Натрийнинг сариқ нурининг вакуумдаги тўлқин узунлиги $\lambda_0 = 589$ нм, шишадагиси эса $\lambda = 393$ нм бўлса шишанинг абсолют синдириш кўрсаткичи n ни топинг.

$$\text{Жавоб: } n = \frac{\lambda_0}{\lambda} = 1,5.$$

67.3. Кўринувчи ёруғлик спектрининг чегаравий қизил ва бинафша нурлари учун сувнинг абсолют синдириш кўрсаткичлари мос равишда $n_1 = 1,329$ ва $n_2 = 1,344$ эканлиги тажрибадан аниқланган. Ёруғликнинг вакуумда тарқалиш тезлиги $c = 3 \cdot 10^8$ м/с бўлса, қизил ва бинафша нурларнинг сувдаги тарқалиш тезликлари v_1 ва v_2 ни топинг.

$$\text{Жавоб: } v_1 = \frac{c}{n_1} = 2,26 \cdot 10^8 \text{ м/с; } v_2 = \frac{c}{n_2} = 2,23 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

67.4. Кўринувчи ёруғлик спектрдаги чегаравий қизил ва бинафша нурларнинг шишада тарқалиш тезликлари мос равишда $v_1 = 1,99 \cdot 10^8$ м/с ва $v_2 = 1,96 \cdot 10^8$ м/с бўлса, қизил ва бинафша нурлар учун шишанинг абсолют синдириш кўрсаткичлари n_1 ва n_2 ни топинг. Ёруғликнинг вакуумда тарқалиш тезлиги $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

$$\text{Жавоб: } n_1 = \frac{c}{v_1} = 1,51; n_2 = \frac{c}{v_2} = 1,53.$$

67.5. Қизил ёруғлик нурининг ҳаводаги тўлқин узунлиги $\lambda_0 = 660$ нм. Бу ёруғлик нурининг абсолют синдириш кўрсаткичи $n = 1,33$ бўлган сувдаги тўлқин узунлиги λ ни топинг. Сув остидаги акваланчи қандай рангли нурни кўради?

Жавоб: $\lambda = \frac{\lambda_0}{n} = 495$ нм, қизил рангни кўради. Чунки кўз рангни ҳаётга а қараб ажратади. Мазкур ҳолда ёруғлиқнинг частотаси ҳавода ҳам сувда ҳам бир хил бўлади.

67.6. Чегаравий частоталари $\nu_1 = 6 \cdot 10^{16}$ Гц дан $\nu_2 = 7,5 \times 10^{19}$ Гц гача бўлган ораликда ётувчи рентген нурларининг чегаравий тўлқин узунликлари λ_1 ва λ_2 ни топинг. Электромагнит тўлқиннинг вакуумда тарқалиш тезлиги $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Жавоб: $\lambda_1 = \frac{c}{\nu_1} = 5 \cdot 10^{-9}$ м; $\lambda_2 = \frac{c}{\nu_2} = 4 \cdot 10^{-12}$ м.

67.7. Тўлқин узунликлари мос равишда $\lambda_1 = 600$ нм $= 6 \times 10^{-7}$ м бўлган ёруғлик, $\lambda_2 = 20$ нм $= 2 \cdot 10^{-11}$ м бўлган рентген ва $\lambda_3 = 0,1$ нм $= 1 \cdot 10^{-13}$ м бўлган гамма нурларнинг частоталари ν_1 , ν_2 ва ν_3 ни топинг. Электромагнит тўлқиннинг вакуумда тезлиги $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Жавоб: $\nu_1 = \frac{c}{\lambda_1} = 5 \cdot 10^{14}$ Гц; $\nu_2 = \frac{c}{\lambda_2} = 1,5 \cdot 10^{19}$ Гц; $\nu_3 = \frac{c}{\lambda_3} = 3 \cdot 10^{24}$ Гц.

67.8. Частотаси $\nu_0 = 7,5 \cdot 10^{14}$ Гц бўлган бинафша ёруғлик нурининг сувда тарқалиш тезлиги $v = 2,23 \cdot 10^8$ м/с. Бу ёруғлик нури сувдан ҳавога ўтганда частотасининг ўзгариши $\Delta\nu$ ни ва тўлқин узунлигининг ўзгариши $\Delta\lambda$ ни топинг. Ёруғликнинг вакуумда тарқалиш тезлиги $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Жавоб: $\Delta\nu = \nu - \nu_0 |_{v=v_0=\text{const}} = 0$; $\Delta\lambda = \lambda_0 - \lambda = \frac{c}{\nu_0} - \frac{v}{\nu_0} = \frac{c-v}{\nu_0} = 1,09 \cdot 10^{-7}$ м.

68-§. ЁРУҒЛИКНИНГ КВАНТ ТАБИАТИ. ФОТОЭФФЕКТ ҲОДИСАСИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Қизил ёруғлик нури ($\lambda_1 = 700$ нм) ва қаттиқ рентген нури ($\lambda = 100$ нм) фотонларининг энергиялари ϵ_1 , ϵ_2 топилсин. Электромагнит тўлқинларнинг тарқалиш тезлиги $c = 3 \cdot 10^8$ м/с ва Планк доимийси $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Ж · с.

Берилган: $\lambda_1 = 700$ нм $= 7 \cdot 10^{-7}$ м; $\lambda_2 = 100$ нм $= 10^{-10}$ м; $c = 3 \cdot 10^8$ м/с; $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Ж · с.

Топиш керак: $\epsilon_1 = ?$ $\epsilon_2 = ?$

Ечилиши: Ёруғликнинг квант-фотон назариясига биноан нурланиш фотонининг энергияси ϵ унинг частотаси ν ёки тўлқин узунлиги λ билан қуйидаги боғланишга эга:

$$\epsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

Бинобарин ёруғлик ва рентген нурлари фотонининг энергиялари қуйидагича тенг бўлади:

$$\epsilon_1 = \frac{hc}{\lambda_1} = \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Ж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{7 \cdot 10^{-7} \text{ м}} = 2,83 \cdot 10^{-19} \text{ Ж};$$

$$\epsilon_2 = \frac{hc}{\lambda_2} = \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Ж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{10^{-10} \text{ м}} = 1,99 \cdot 10^{-15} \text{ Ж}.$$

Жавоб: $\epsilon_1 = 2,83 \cdot 10^{-19}$ Ж; $\epsilon_2 = 1,99 \cdot 10^{-15}$ Ж.

2-масала. Частоталари $\nu_1 = 5 \cdot 10^{14}$ Гц (ёруғлик нури) ва $\nu_2 = 3 \cdot 10^{10}$ Гц (гамма нури) бўлган нурланиш фотонларининг энергиялари $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$, массалари $m_{\phi_1}, m_{\phi_2}, m_{\phi_3}$, ва импульслари $K_{\phi_1}, K_{\phi_2}, K_{\phi_3}$ топилсин. Ёруғликнинг тарқалиш тезлиги $c = 3 \cdot 10^8$ м/с. Планк доимийси $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Ж · с.

Берилган: $\nu_1 = 5 \cdot 10^{14}$ Гц $= 5 \cdot 10^{14}$ 1/с, $\nu_2 = 3 \cdot 10^{10}$ Гц $= 3 \cdot 10^{10}$ 1/с; $\nu_3 = 8 \cdot 10^{18}$ Гц $= 8 \cdot 10^{18}$ 1/с; $\nu_3 = 3 \cdot 10^{20}$ Гц $= 3 \cdot 10^{20}$ 1/с; $c = 3 \cdot 10^8$ м/с; $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Ж · с.

Топиш керак: $\epsilon_1 = ?$ $\epsilon_2 = ?$ $\epsilon_3 = ?$ $m_{\phi_1} = ?$ $m_{\phi_2} = ?$ $m_{\phi_3} = ?$ $K_{\phi_1} = ?$ $K_{\phi_2} = ?$ $K_{\phi_3} = ?$

Ечилиши: Фотоннинг энергияси ϵ нурланишнинг частотаси ν га тўғри пропорционал бўлиб, Планк формуласига биноан қуйидагига тенг:

$$\epsilon = h\nu.$$

Масала шартига биноан ҳар бир нурланиш фотони энергияларини ҳисоблаб чиқамиз:

$$\epsilon_1 = h\nu_1 = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Ж} \cdot \text{с} \cdot 5 \cdot 10^{14} \text{ 1/с} = 3,31 \cdot 10^{-19} \text{ Ж};$$

$$\epsilon_2 = h\nu_2 = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Ж} \cdot \text{с} \cdot 8 \cdot 10^{18} \text{ 1/с} = 5,30 \cdot 10^{-1} \text{ Ж};$$

$$\epsilon_3 = h\nu_3 = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Ж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^{20} \text{ 1/с} = 1,99 \cdot 10^{-13} \text{ Ж}.$$

Энергия ва массанинг боғланиш формуласи, (Эйнштейн формуласи) $\epsilon = m_{\phi}c^2$ дан фотоннинг массаси m_{ϕ} ни аниқлаб, ҳар бир нурланиш фотонининг массасини ҳисоблаб чиқамиз:

$$m_{\phi_1} = \frac{\epsilon_1}{c^2} = \frac{h\nu_1}{c^2} = \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Ж} \cdot \text{с} \cdot 5 \cdot 10^{14} \text{ 1/с}}{9 \cdot 10^{16} \text{ м}^2/\text{с}^2} = 3,68 \cdot 10^{-34} \text{ кг};$$

$$m_{\phi_2} = \frac{\epsilon_2}{c^2} = \frac{h\nu_2}{c^2} = \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Ж} \cdot \text{с} \cdot 8 \cdot 10^{18} \text{ 1/с}}{9 \cdot 10^{16} \text{ м}^2/\text{с}^2} = 5,89 \cdot 10^{-32} \text{ кг};$$

$$m_{\phi_3} = \frac{\epsilon_3}{c^2} = \frac{h\nu_3}{c^2} = \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Ж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^{20}}{9 \cdot 10^{16} \text{ м}^2/\text{с}^2} = 2,21 \cdot 10^{-30} \text{ кг}.$$

Фотоннинг импульси эса қуйидагига тенг:

$$K_{\phi} = m_{\phi}c = \frac{m_{\phi}c^2}{c} = \frac{h\nu}{c}.$$

Бу формула ёрдамида фотонлар импульсларини ҳисоблаб чиқсак:

$$K_{\phi_1} = \frac{h\nu_1}{c} = \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Ж} \cdot \text{с} \cdot 5 \cdot 10^{14} \text{ 1/с}}{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}} = 1,10 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot \text{м/с}.$$

$$K_{\phi_2} = \frac{h\nu_2}{c} = \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Ж} \cdot \text{с} \cdot 8 \cdot 10^{18}}{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}} = 1,77 \cdot 10^{-23} \text{ кг} \cdot \text{м/с}.$$

$$K_{\phi_3} = \frac{h\nu_3}{c} = \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Ж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^{20}}{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}} = 6,63 \cdot 10^{-24} \text{ кг} \cdot \text{м/с}.$$

Жавоб: $\epsilon_1 = 3,31 \cdot 10^{-19}$ Ж, $\epsilon_2 = 5,30 \cdot 10^{-15}$ Ж; $\epsilon_3 = 1,99 \cdot 10^{-9}$ Ж;
 $m_{\phi_1} = 3,68 \cdot 10^{-34}$ кг, $m_{\phi_2} = 5,89 \cdot 10^{-32}$ кг, $m_{\phi_3} = 2,21 \cdot 10^{-30}$ кг;
 $K_{\phi_1} = 1,10 \cdot 10^{-27}$ кг · м/с, $K_{\phi_2} = 1,77 \cdot 10^{-23}$ кг · м/с;
 $K_{\phi_3} = 6,63 \cdot 10^{-22}$ кг · м/с.

3- масала. Цезий тўлқин узунлиги $\lambda = 400$ нм бўлган бинафша нур билан ёритилганда унинг сиртидан учиб чиққан электронларнинг кинетик энергияси W_k ва тезлиги v топилсин. Цезийдан электроннинг чиқиш иши $A = 1,7 \cdot 10^{-19}$ Ж, ёруғлик тарқалиш тезлиги $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, Планк доимийси $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Ж · с ва электроннинг массаси $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

Берилган: $\lambda = 400$ нм $= 4 \cdot 10^{-7}$ м; $A = 1,7 \cdot 10^{-19}$ Ж; $c = 3 \cdot 10^8$ м/с; $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Ж · с.

Топиш керак: $W_k = ?$ $v = ?$

Ечилиши: Фотоэффект ҳодисаси учун Эйнштейн формуласини ёзамиз:

$$h\nu = \frac{mv^2}{2} + A \quad \frac{mc^2}{2} = h\nu - A,$$

бунда $\nu = \frac{c}{\lambda}$ бўлганлиги учун электроннинг кинетик энергияси $W_k = \frac{mv^2}{2}$ қуйидагига тенг бўлади:

$$W_k = \frac{hc}{\lambda} - A = \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Ж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{4 \cdot 10^{-7} \text{ м}} = 5 \cdot 10^{-19} \text{ Ж}.$$

Фотоэлектроннинг кинетик энергиясини билган ҳолда унинг тезлигини ҳисоблаб чиқамиз:

$$v = \sqrt{\frac{2W_k}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 5 \cdot 10^{-19} \text{ Ж}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}}} = 1,05 \cdot 10^6 \text{ м/с}.$$

Жавоб: $W_k = 5 \cdot 10^{-19}$ Ж; $v = 1,05 \cdot 10^6$ м/с.

4- масала. Металл пластинкага тўлқин узунлиги $\lambda = 400$ нм бўлган нур тушганда унинг сиртидан учиб чиқаётган фотоэлектронлар потенциаллар айирмаси $U = 1,5$ В бўлган тормозловчи электр майдон билан тўлиқ ушлаган бўлса, металлдан электроннинг чиқиш иши A ва „қизил чегараси“ нинг тўлқин узунлиги λ_0 топилсин. Ёруғликнинг тарқалиш тезлиги $c = 3 \times 10^8$ м/с ва Планк доимийси $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Ж · с, электроннинг заряди $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Берилган: $\lambda = 400$ нм $= 4 \cdot 10^{-8}$ м; $U = 1,5$ В; $c = 3 \cdot 10^8$ м/с; $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Ж · с. $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Топиш керак: $A = ?$ $\lambda_0 = ?$

Ечилиши: Металл пластинкадан v тезлик билан учиб чиқаётган фотоэлектронлар электр майдони билан тўлиқ тормоз-

ланганда электр кучининг бажарган иши фотоэлектронларнинг кинетик энергиясига тенг бўлади, яъни:

$$e\varphi = \frac{mv^2}{2}$$

бунда e — электроннинг заряди, m — унинг массаси.

Электроннинг кинетик энергиясининг бу ифодасини Эйнштейн тенгламаси $h\nu = \frac{mv^2}{2} + A$ га қўйиб, $\nu = \frac{c}{\lambda}$ назарга олинса, металлдан электроннинг чиқиш иши қуйидагига тенг бўлади:

$$A = h\nu - \frac{mv^2}{2} = \frac{hc}{\lambda} - e\varphi = \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Ж} \cdot c \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{4 \cdot 10^{-7} \text{ м}} - 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 1,5 \text{ В} = 2,57 \cdot 10^{-19} \text{ Ж} = 1,6 \text{ эВ}.$$

Фотоэффектнинг „Кизил чегараси“ да фотоэлектроннинг кинетик энергияси нолга тенг ($\frac{mv^2}{2} = 0$) бўлганлиги учун Эйнштейн тенгламаси қуйидаги кўринишга келади:

$$h\nu_0 = h \frac{c}{\lambda_0} = A.$$

Бундан изланаётган тўлқин узунлиги, λ_0 ни топсак

$$\lambda_0 = \frac{hc}{A} = \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Ж} \cdot c \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{2,57 \cdot 10^{-19} \text{ Ж}} = 7,73 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 773 \text{ нм}.$$

Жавоб: $A = 2,57 \cdot 10^{-19} \text{ Ж} = 1,6 \text{ эВ}$, $\lambda_0 = 7,73 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 773 \text{ нм}$.

Мустақил ечиш учун масалалар

68.1. Қизил ва бинафша нурлар фотонларининг энергияси мос равишда $\epsilon_1 = 2,5 \cdot 10^{-19} \text{ Ж}$ ва $\epsilon_2 = 5 \cdot 10^{-19} \text{ Ж}$ бўлса, уларнинг тўлқин узунликлари λ_1 ва λ_2 ни топинг. Ёруғликнинг тарқалиш тезлиги $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$, Планк доимийси $h = 6,625 \times 10^{-34} \text{ Ж} \cdot c$.

Жавоб: $\lambda_1 = \frac{hc}{\epsilon_1} = 7,95 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 795 \text{ нм}$; $\lambda_2 = \frac{hc}{\epsilon_2} = 3,90 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 390 \text{ нм}$.

68.2. Кўзнинг тўр пардасининг сариқ нур ($\lambda = 600 \text{ нм}$) га сезгирлиги $N = 1,7 \cdot 10^{19} \text{ Вт}$. Кўз ёруғликни сезиши учун $t = 1 \text{ с}$ да кўзга тушиши зарур булган фотонлар сони n ни топинг. Ёруғликнинг тарқалиш тезлиги $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$, Планк доимийси $h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Ж} \cdot c$.

Жавоб: $n = \frac{W}{\epsilon} = \frac{N\lambda t}{hc} = 5$.

68.3. Неон газли лазер нурининг тўлқин узунлиги $\lambda = 630$ нм бўлса, фотонининг энергияси ϵ ни, массаси m_ϕ ни ва импульси K_ϕ ни топинг. Ёруғликнинг тарқалиш тезлиги $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, Планк доимийси $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Ж · с.

$$\text{Жавоб: } \epsilon = \frac{hc}{\lambda} = 3,15 \cdot 10^{-19} \text{ Ж; } m_\phi = \frac{h}{\lambda c} = 3,5 \cdot 10^{-36} \text{ кг; } K_\phi = m_\phi \times \\ \times c = \frac{h}{\lambda} = 1,05 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot \text{м/с.}$$

68.4. Қизил ёруғлик нурининг $\lambda = 800$ нм, сариқ ёруғлик нурининг $\lambda_2 = 600$ нм ва бинафша ёруғлик нурининг $\lambda_3 = 400$ нм тўлқин узунликларига мос келадиган фотонларнинг энергиялари $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$, массалари $m_{\phi_1}, m_{\phi_2}, m_{\phi_3}$ ва импульслари $K_{\phi_1}, K_{\phi_2}, K_{\phi_3}$ ни топинг. Ёруғликнинг тарқалиш тезлиги $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, Планк доимийси $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Ж · с.

$$\text{Жавоб: } \epsilon_1 = \frac{hc}{\lambda_1} = 2,48 \cdot 10^{-19} \text{ Ж; } \epsilon_2 = \frac{hc}{\lambda_2} = 3,31 \cdot 10^{-19} \text{ Ж; } \epsilon_3 = \frac{hc}{\lambda_3} = \\ = 4,97 \cdot 10^{-19} \text{ Ж; } m_{\phi_1} = \frac{h}{\lambda_1 c} = 2,76 \cdot 10^{-36} \text{ кг; } m_{\phi_2} = \frac{h}{\lambda_2 c} = 3,68 \cdot 10^{-36} \text{ кг; } \\ m_{\phi_3} = \frac{h}{\lambda_3 c} = 2,52 \cdot 10^{-36} \text{ кг; } K_{\phi_1} = \frac{h}{\lambda_1} = 0,826 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot \text{м/с; } K_{\phi_2} = \frac{h}{\lambda_2} = \\ = 1,10 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot \text{м/с; } K_{\phi_3} = \frac{h}{\lambda_3} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot \text{м/с.}$$

68.5. Қуввати $N = 200$ Вт бўлган ёруғлик манбаидан $t = 1$ с ичида $n = 5 \cdot 10^{20}$ та фотон чиқса, нурланишнинг тўлқин узунлиги λ ни топинг. Ёруғликнинг тарқалиш тезлиги $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, Планк доимийси $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Ж · с.

$$\text{Жавоб: } \lambda = \frac{nhc}{Nt} = 4,97 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 497 \text{ нм.}$$

68.6. Тўлқин узунлиги $\lambda = 600$ нм бўлган бир жинсли ёруғлик дастаси металл пластинка сиртига тик равишда тушмоқда. Агар пластинка юзасига $t_0 = 1$ с да $n_0 = 6 \cdot 10^{13}$ та ёруғлик фотони тушса, пластинкада $t = 1$ соат давомида қанча Q иссиқлик миқдори ажралади? Ёруғлик фотонлари пластинкага тўлиқ ютилади деб фараз қилинг. Ёруғликнинг тарқалиш тезлиги $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, Планк доимийси $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Ж · с.

$$\text{Жавоб: } Q = n\epsilon = n_0 \frac{t \cdot hc}{t_0 \cdot \lambda} = 7,16 \cdot 10^{-2} \text{ Ж.}$$

68.7. Электроннинг чиқиш иши $A = 2,9 \cdot 10^{-19}$ Ж бўлган цезий $\lambda = 500$ нм тўлқин узунликли нурлар билан ёритилганда ундан учиб чиқадиган фотоэлектронларнинг максимал кинетик энергияси W_k ни ва тезлиги v ни топинг. Ёруғликнинг тарқа-

лиш тезлиги $c = 3 \cdot 10^8$ м/с. Планк доимийси $h = 6,625 \times 10^{-34}$ Ж · с, электроннинг массаси $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

$$\text{Жавоб: } W_k = \frac{hc}{\lambda} - 1 = 1,1 \cdot 10^{-19} \text{ Ж; } v = \sqrt{\frac{2W_k}{m}} = \sqrt{\frac{2}{m} \left(\frac{hc}{\lambda} - 1 \right)} = 4,92 \cdot 10^5 \text{ м/с.}$$

68.8. Чиқиш иши $A = 3,8 \cdot 10^{-19}$ Ж бўлган литийдан учиб чиқаётган фотоэлектронларнинг максимал кинетик энергияси $W_k = 0,2 \cdot 10^{-19}$ Ж бўлса, фотоэффектни юзага келтирувчи ёруғлик нурининг тўлқин узунлиги λ ни топинг. Ёруғликнинг тарқалиш тезлиги $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, Планк доимийси $h = 6,625 \times 10^{-34}$ Ж · с.

$$\text{Жавоб: } \lambda = \frac{hc}{W_k + A} = 4,97 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 497 \text{ нм.}$$

68.9. Металл $\lambda = 400$ нм тўлқин узунликли нур билан ёритилганда ундан учиб чиққан фотоэлектронларнинг максимал тезлиги $v = 6 \cdot 10^5$ м/с бўлса, металлдан электроннинг чиқиши иши A ни топинг. Ёруғликнинг тарқалиш тезлиги $c = 3 \times 10^8$ м/с. Планк доимийси $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Ж · с электроннинг массаси $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

$$\text{Жавоб: } A = \left(\frac{hc}{\lambda} - \frac{mv^2}{2} \right) = 3,33 \cdot 10^{-19} \text{ Ж.}$$

68.10. Рубидий тўлқин узунлиги $\lambda = 317$ нм бўйича ультрабинафша нурлар билан ёритилганда ундан учиб чиқаётган фотоэлектронларнинг максимал кинетик энергияси $W_k = 1,84 \times 10^{-19}$ Ж. Рубидийдан электроннинг чиқиш иши A ни ва фотоэффектнинг „қизил чегараси“ га мос келувчи тўлқин узунлик λ_0 ни топинг. Ёруғликнинг тарқалиш тезлиги $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, Планк доимийси $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Ж · с.

$$\text{Жавоб: } A = \frac{hc}{\lambda} - W_k = 3,43 \cdot 10^{-19} \text{ Ж; } \lambda_0 = \frac{hc}{A} = \frac{hc}{\frac{hc}{\lambda} - W_k} = 5,72 \times 10^{-7} \text{ м} = 579 \text{ нм.}$$

68.11. Электроннинг чиқиш иши $A = 6,56 \cdot 10^{-19}$ Ж бўлган кадмийдан чиқаётган фотоэлектронларнинг максимал тезлиги $v = 4 \cdot 10^5$ м/с бўлса, калмийга тушаётган нурнинг тўлқин узунлиги λ ни топинг. Ёруғликнинг тарқалиш тезлиги $c = 3 \times 10^8$ м/с, Планк доимийси $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Ж · с, электроннинг массаси $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

$$\text{Жавоб: } \lambda = \frac{2hc}{mv^2 + 2A} = 2,73 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 273 \text{ нм.}$$

68.12. Электроннинг чиқиш иши $A = 3,81 \cdot 10^{-19}$ Ж бўлган литий тўлқин узунлиги $\lambda = 400$ нм бўлган нур билан ёритил-

ганда унинг сиртидан учиб чиқаётган фотоэлектронларни ба-
тамом тормозлаш учун зарур бўлган кучланиш U ни топинг.
Ёруғликнинг тарқалиш тезлиги $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, Планк доимий-
си $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Ж·с, электроннинг заряди $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

$$\text{Жавоб: } U = \frac{hc/\lambda - A}{e} = 0,725 \text{ В.}$$

XIV б о б. АТОМ ВА ЯДРО ФИЗИКАСИ АСОСЛАРИ

● Борнинг биринчи постулати (стационар ҳолат постулати):
стационар ҳолатда атом ўзидан нур чиқармайди. Атомнинг
стационар ҳолатига электроннинг аниқ бир стационар орбита-
си мос келади. Электрон стационар ҳолатда бўлганда, унга
таъсир қилувчи марказга интилма кучдан иборат бўлган Ку-
лон кучи таъсирида ҳаракатланади, яъни:

$$\frac{mv_n^2}{r_n} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r_n^2} \quad (\text{XIV.1})$$

бунда $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг — электроннинг массаси, $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл
— электроннинг заряди, v_n — электроннинг n орбитадаги тезли-
ги, r_n — орбитанинг радиуси, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м — электр дои-
мийси.

● Борнинг иккинчи постулати: электрон стационар орбитада
ҳаракатланганда унинг орбитал импульс моменти $mv_n r_n$ карра-
ли $h/2\pi$ га тенг бўлиши керак, яъни

$$mv_n r_n = n \frac{h}{2\pi}, \quad (\text{XIV.2})$$

бунда v_n — электроннинг n — орбитадаги тезлиги, r_n — орбита
радиуси, $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Ж·с — Планк доимийси.

● Борнинг учинчи постулати (частота қоидаси): электрон бир
стационар орбитадан иккинчисига ўтганда, атом ўзидан ёруғ-
лик кванти $h\nu_{mn}$ ни чиқаради ёки ютади, яъни:

$$h\nu_{mn} = W_m - W_n \quad (\text{XIV.3})$$

бунда W_m , W_n — электроннинг m ва n орбиталардаги энер-
гияси.

● Бор постулатларига асосан n орбитанинг радиуси ва v_n ун-
даги электроннинг ҳаракат тезлиги v_n қойидагига тенгдир:

$$r_n = n^2 \frac{h^2 \epsilon_0}{\pi m e^2} \quad v_n = n \frac{e^2}{2h \epsilon_0} \quad (\text{XIV.4})$$

● Водород атомининг биринчи ($n = 1$) Бор орбитасининг радиуси $r_1 = 0,53 \cdot 10^{-10}$ м.

Водород атомининг n орбитасидаги электроннинг кинетик, потенциал ва тўлиқ энергиялари Бор назариясига биноан қуйидаги формулалардан аниқланади:

$$W_k = \frac{mv_n^2}{2} = \frac{1}{n^2} \cdot \frac{me^4}{8h^2 \epsilon_0^2};$$

$$W_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e(-e)}{r_n} = -\frac{1}{n^2} \frac{me^4}{4h^2 \epsilon_0^2}; \quad W_v = W_k - W_p =$$

$$= -\frac{1}{n^2} \cdot \frac{me^4}{8h^2 \epsilon_0^2}; \quad (\text{XIV } 5)$$

● Бор назариясига асосан водород атоми спектрал серияларининг частотаси ν_{mn} ва тўлқин сони $\frac{1}{\lambda}$ қуйидаги формулалардан аниқланади:

$$\nu_{mn} = \frac{me^4}{8h^3 \epsilon_0^2} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) = Rc \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad (\text{XIV.6})$$

ёки

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{\nu_{mn}}{c} = \frac{me^4}{8h^3 \epsilon_0^2} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad (\text{XIV.6a})$$

бунда R —Ридберг доимийси бўлиб, унинг сон қиймати:

$$R = \frac{me^4}{8h^3 \epsilon_0^2 c} = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}. \quad (\text{XIV.66})$$

● Берилган ядронинг масса „дефекти“ қуйидагига тенгдир:

$$\Delta m = |(Zm_p + Nm_n) - M_\alpha| = |Zm_p + (A - Z)m_n - M_\alpha|, \quad (\text{XIV.7})$$

бунда Zm_p — ядро таркибидаги барча протонлар массаси, $(A - Z)m_n$ — барча нейтронлар массаси, M_α — ядро массаси, $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27}$ кг = 1,00759 м. а. б. — протоннинг массаси, $m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27}$ кг = 1,00899 м. а. б. — нейтроннинг массаси.

● Ядронинг боғланиш энергияси W_6 масса „дефекти“ Δm билан қуйидагича боғланишга эга:

$$W_6 = \Delta m \cdot c^2 = |Zm_p + (A - Z)m_n - M_\alpha| c^2. \quad (\text{XIV.8})$$

Ядронинг боғланиш энергияси W_6 ни МэВ ларда ҳосил қилинса, бу формула қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$W_6 = 931 \frac{\text{МэВ}}{\text{м. а. б.}} \Delta m = 931 \frac{\text{МэВ}}{\text{м. а. б.}} [Zm_p + (A - Z)m_n - M_\alpha] \quad (\text{XIV.9})$$

Ядро тузилишининг мустаҳкамлиги ядронинг битта нуклонига мос келган боғланиш энергияси, яъни солиштирма боғланиш энергияси ε билан характерланади:

$$\varepsilon = \frac{W_0}{A}. \quad (\text{XIV.10})$$

● **Альфа силжиш қонуни:** α -парчаланишда элемент ядросидан α -заррача (${}_2\text{He}^4$ ядроси) учиб чиқиб, элементининг заряди икки бирликка, масса сони эса тўрт бирликка камайиб, элементлар даврий системасининг бошига қараб икки катакка силжийди, яъни:



● **Бета силжиш қонуни:** β парчаланишда элемент ядросидан электрон (${}_{-1}e^0$) учиб чиқиб, заряди бир бирликка ортади, масса сони ўзгармай қолиб, элементлар даврий системасининг охирига қараб бир катакка силжийди, яъни:



● Парчаланган атомлар сони ΔN парчаланиш вақти Δt га ва дастлабки атомлар сони N га тўғри пропорционалдир:

$$\Delta N = -\lambda N \cdot \Delta t, \quad (\text{XIV.13})$$

бунда λ — радиоактив парчаланиш доимийси.

● Радиоактив парчаланиш қонунининг математик ифодаси қуйидаги кўринишга эга:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (\text{XIV.14})$$

бунда N_0 — бошланғич вақт ($t = 0$) даги радиоактив атомлар сони, N эса t вақтдан кейинги радиоактив атомлар сони.

● Радиоактив модданинг ярим парчаланиш даври T парчаланиш доимийси λ билан қуйидагича боғланишга эга:

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}. \quad (\text{XIV.15})$$

● Радиоактив элемент атомининг ўртача яшаш вақти τ парчаланиш доимийси λ нинг тескари қийматига тенг:

$$\tau = \frac{1}{\lambda}. \quad (\text{XIV.16})$$

● Радиоактив парчаланиш қонунининг математик ифодаси ярим парчаланиш даври T орқали қуйидагича кўринишга эга:

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}$$

(XIV.17)

● Ядро реакцияси қуйидагича ёзилади:



бунда A —бошланғич ядро, a — реакцияга киришувчи заррача B — реакцияда вужудга келган ядро, b — реакци да ажралиб чиққан заррача.

● Ядро реакциясида ажралиб чиққан ёки ютиладиган энергия Q га реакция энергияси дейилиб, у МэВ ларда ифодаланилса, қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$Q = 931 \frac{\text{МэВ}}{\text{м.а.б.}} [(m_A + m_a) - (m_B + m_b)], \quad (\text{XIV.19})$$

бунда $(m_A + m_a)$ — реакциягача бўлган ядро массалари, $(m_B + m_b)$ — реакциядан кейинги ядро массалари.

Энергия ажралган ($Q > 0$) ядро реакциясига экзотермик реакция дейилади, энергия ютилган ($Q < 0$) ядро реакциясига эса эндотермик реакция дейилади.

69-§. АТОМ ФИЗИКАСИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Бор назариясидан фойдаланиб водород атоми учун электроннинг иккинчи ($n=2$) стационар орбитасининг радиуси r_2 ва электроннинг бу орбитадаги тезлиги v_2 топилсин. Электроннинг массаси $m = 9,11 \cdot 10^{-31}$ кг, заряди $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, электр доимийси $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Кл²/Н·м², Планк доимийси $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Ж·с.

Берилган: $m = 9,11 \cdot 10^{-31}$ кг; $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл;

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Кл²/Н·м²; $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Ж·с;
 $n = 2$.

Топиш керак: $r_2 = ?$ $v_2 = ?$

Ечилиши: Водород атомидаги n — стационар орбитасида ҳаракатланаётган электроннинг ядрога тортилиш кучи — Кулон

кучи $F_{\text{кл}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_n^2}$, марказга интилма куч $F_{\text{м.н.}} = \frac{mv_n^2}{r_n}$ дан иборат бўлади, яъни:

$$\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_n^2} = \frac{mv_n^2}{r_n}$$

Иккинчи томондан, Борнинг квантлаш постулатига кўра, электроннинг импульс momenti $L_e = m v_n r_n$ каррали $h/2\pi$ да тенг-дир:

$$L_e = m v_n r_n = n \frac{h}{2\pi}.$$

Шундай қилиб, икки номаълумли икки тенгламадан r_n ва v_n учун қуйидагилар келиб чиқади:

$$r_2 = \frac{n^2 h^2 \epsilon_0}{\pi m e} = 2^2 \cdot \frac{6,625^2 \cdot 10^{-68} \text{ Ж}^2 \cdot \text{с}^2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}^2 / \text{Н} \cdot \text{м}^2}{3,14 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot 1,6^2 \cdot 10^{-39} \text{ Кл}^2} = 21,2 \cdot 10^{-11} \text{ м},$$

$$v_2 = \frac{1}{n} \cdot \frac{e^2}{2 \epsilon_0 h} = \frac{1,6^2 \cdot 10^{-38} \text{ Кл}^2}{2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}^2 / \text{Н} \cdot \text{м}^2 \cdot 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Ж} \cdot \text{с}} = 1,10 \cdot 10^6 \text{ м/с} = 1100 \text{ км/с}.$$

Жавоб: $r_2 = 21,2 \cdot 10^{-11} \text{ м}$, $v_2 = 1100 \text{ км/с}$.

2-масала. Водород атомидаги электроннинг $n=3$ стационар орбитадан $m=2$ орбитага ўтишида сочилган нурланиш частотаси ν топилсин. Ёруғликнинг тарқалиш тезлиги $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$, Ридберг доимийси $R = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$.

Берилган: $m=2$; $n=3$; $c=3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$; $R=1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$.

Топиш керак: $\nu = ?$

Ечилиши: Электрон $n=3$ стационар орбитадан $m=2$ орбитага ўтганда сочилган ёруғлик квантининг частотаси Бальмер сериясидан аниқланади:

$$\nu = R c \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} = \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right) = 4,57 \cdot 10^{14} \text{ Гц}.$$

Жавоб: $\nu = 4,57 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$.

3-масала. Водород атомининг ионланиш потенциали U_1 топилсин. Атомдаги электрон нормал ҳолат ($m=1$) дан чексизликка ($n=\infty$) кўчиши керак. Ёруғликнинг тарқалиш тезлиги $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$, Планк доимийси $h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Ж} \cdot \text{с}$, Ридберг доимийси $R = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$.

Берилган: $m=1$; $n=\infty$; $c=3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$; $h=6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Ж} \cdot \text{с}$
 $R=1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$.

Топиш керак $U_1 = ?$

Ечилиши: Водород атомининг ионланиш потенциали U_1 атомнинг нормал ҳолати ($m=1$) даги электронни чексизлик ($n=\infty$) га кўчиришдаги иши A_1 билан қуйидаги боғланишга эга:

$$A_1 = e U_1,$$

бунда e —электроннинг заряди.

Иккинчи томондан водород атомининг ионланиш иши A миқдор жиҳатидан Лайман сериясидаги ёруғлик квант энергияси $h\nu$ га тенгдир:

$$A_i = h\nu = hRc \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right).$$

Бу икки ифодадан водород атомининг ионланиш потенциали U_i аниқлаб, ҳисоблаб чиқамиз:

$$U_i = \frac{hRe}{c} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) = \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Ж} \cdot \text{с} \cdot 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м} \cdot \text{с}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} \left(\frac{1}{1} - \frac{1}{\infty} \right) = 13,6 \text{ В}.$$

Жавоб: $U_i = 13,6 \text{ В}$.

4-масала. Брэкет спектрал сериясининг иккинчи спектрал чизиги ($m=4$, $n=6$) нинг тўлқин узунлиги $\lambda = 2,63 \text{ мкм}$ бўлса, Ридберг доимийси R топилсин.

Берилган: $m = 4$; $n = 6$; $\lambda = 2,63 \text{ мкм} = 2,63 \cdot 10^{-6} \text{ м}$.

Топиш керак: $R = ?$

Ечилиши. Водород атомининг Брэкет спектрал сериялари спектрнинг узоқ инфрақизил соҳасида ётиб, у қуйидаги формула ёрдамида аниқланади:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right).$$

Бундан Ридберг доимийси R аниқлаб, ҳисоблаб чиқамиз:

$$R = \frac{1}{\lambda \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)} = \frac{1}{2,63 \cdot 10^{-6} \text{ м} \left(\frac{1}{16} - \frac{1}{36} \right)} = 1,095 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}.$$

Жавоб: $R = 1,095 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$.

Мустақил ечиш учун масалалар

69.1. Водород атомидаги учинчи ($n=3$) стационар орбитасининг радиуси r_3 ва ундаги электроннинг тезлиги v_3 ни топинг. Электроннинг массаси $m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$, заряди $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, электр доимийси $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}^2 / \text{Н} \cdot \text{м}^2$, Планк доимийси $h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Ж} \cdot \text{с}$.

$$\text{Жавоб: } r_3 = n^2 \frac{h^2 \epsilon_0}{\pi m e^4} = 4,77 \cdot 10^{-10} \text{ м}; \quad v_3 = \frac{1}{n} \cdot \frac{e^2}{2\epsilon_0 h} = 7,3 \cdot 10^5 \text{ м/с}.$$

69.2. Водород атомининг иккинчи ($n = 2$) стационар орбитасидаги электроннинг кинетик W_k , потенциал W_p ва тўлиқ энергияларини W_T топинг. Электроннинг массаси $m = 9,11 \cdot 10^{-31}$ кг, заряди $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, электр доимийси $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Кл²/Н·м², Планк доимийси $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Ж·с.

Жавоб: $W_k = \frac{1}{n^2} \cdot \frac{m \cdot e^4}{8h^2 \epsilon_0^2} = 0,545 \cdot 10^{-18}$ Ж; $W_p = -\frac{1}{n^2} \cdot \frac{me^4}{4h^2 \epsilon_0^2} = -1,09 \cdot 10^{-18}$ Ж; $W_T = W_k + W_p = -\frac{1}{n^2} \cdot \frac{me^4}{8h^2 \epsilon_0^2} = -0,545 \cdot 10^{-18}$ Ж.

69.3. Водород атомидаги биринчи ($n = 1$) бор орбитасидаги электроннинг бурчакли тезлиги ω ни топинг. Электроннинг массаси $m = 9,11 \cdot 10^{-31}$ кг, заряди $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, электр доимийси $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Кл²/Н·м², Планк доимийси $h = 6,625 \times 10^{-34}$ Ж/с.

Жавоб: $\omega = \frac{1}{n^3} \cdot \frac{me^4}{2\pi h^3 \epsilon_0^2} = 4,17 \cdot 10^{16}, \frac{1}{c}$.

69.4. Водород атомидаги бирор стационар орбитада ҳаракатланаётган электроннинг тезлиги $v_n = 784$ к /с бўлса, орбитанинг тартиб номери n ни топинг. Электроннинг заряди $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, электр доимийси $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Кл²/Н·м² ва Планк доимийси $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Ж·с.

Жавоб: $n = \frac{e^2}{2\epsilon_0 h v_n} = 3$.

61.5. Водород атоми нормал ($n_1 = 1$) ҳолатдан, бош квант сони $n_2 = 2$ бўлган уйғотилган ҳолатга ўтган бўлса, атомнинг уйғотиш энергияси W ни топинг. Электроннинг массаси $m = 9,11 \cdot 10^{-31}$ кг, заряди $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, электр доимийси $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Кл²/Н·м² Планк доимийси $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Ж·с.

Жавоб: $W = W_2 - W_1 = \frac{me^4}{8h^2 \epsilon_0^2} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) = 1,612 \cdot 10^{-19}$ Ж = 1,02 эВ.

69.6. Водород атомидаги электрон юқориги стационар орбитадан пасткисига тушганда унинг энергияси $\Delta W = 1,892$ эВ га камайган бўлса, нурланишнинг тўлқин узунлиги λ ни топинг. Ёругликнинг тарқалиш тезлиги $c = 3 \cdot 10^8$ м/с ва Планк доимийси $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Ж·с.

Жавоб: $\lambda = \frac{hc}{\Delta W} = 65$ нм.

69.7. Водород атомининг иккинчи ($m = 2$) стационар орбитасидаги электронни чексизликка ($n = \infty$) кўчиришда бажари-

ладиган иш A ни топинг. Ёруғликнинг тарқалиш тезлиги $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, Ридберг доимийси $R = 1,097 \cdot 10^7$ м⁻¹, Планк доимийси $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Ж·с.

$$\text{Жавоб: } A = h\nu = hRc \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) = 0,545 \cdot 10^{-18} \text{ Ж} = 0,545 \text{ эВ.}$$

69.8. Водород атомидаги электрон $n = 4$ стационар орбитадан $m = 2$ орбитага ўтганда $\epsilon = 4,04 \cdot 10^{-19}$ Ж энергияли ёруғлик кванти нурланса, унинг тўлқин узунлиги λ ни топинг.

$$\text{Жавоб: } \lambda = \frac{hc}{\epsilon} = 4,92 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 0,492 \text{ мкм.}$$

69.9. Водород атомининг ультрабинафша Лайман сериясидаги минимал ($m = 1$, $n = \infty$) тўлқин узунлиги λ ни топинг. Ридберг доимийси $R = 1,097 \cdot 10^7$ м⁻¹.

$$\text{Жавоб: } \lambda = \frac{1}{R \left(\frac{1}{m} - \frac{1}{n^2} \right)} = 0,912 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 91,2 \text{ нм.}$$

69.10. Водород атоми спектрининг кўринадиган соҳасидаги энг кичик ($m = 2$, $n = 3$) нурланиш частотаси $\nu = 4,6 \cdot 10^{14}$ Гц генг эканини билган ҳолда Бальмер формуласида Ридберг доимийси R ни топинг. Ёруғликнинг тарқалиш тезлиги $c = 3 \times 10^8$ м/с.

$$\text{Жавоб: } R = \frac{\nu}{c \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)} = 1,105 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}.$$

69.11. Водород атомидаги электрон иккинчи Бор орбитаси ($m = 2$) дан биринчи ($n = 1$) орбитага ўтганда атом энергиясининг ўзгариши $\Delta W = 1,63 \cdot 10^{-18}$ Ж бўлса, Ридберг доимийси R ни топинг. Ёруғликнинг тарқалиш тезлиги $c = 3 \cdot 10^8$ м/с ва Планк доимийси $h = 6,628 \cdot 10^{-34}$ Ж·с.

$$\text{Жавоб: } R = \frac{\Delta W}{hc \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)} = 1,094 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}.$$

69.12. 1834 йилда И. Фраунгофер қуёш спектрининг кўринадиган қисмида водороднинг тўртта (α , β , γ , δ) ютилиш спектрал чизиқларини аниқлаган. Ютилиш спектридаги энг катта тўлқин узунлиги $\lambda_\alpha = 656$ нм (яъни $n = 2$ ва $m_\alpha = 3$). Қолган учта ($m_\beta = 4$, $m_\gamma = 5$, $m_\delta = 6$) спектрал чизиқнинг тўлқин узунликлари λ_β , λ_γ , λ_δ ни топинг.

$$\text{Жавоб: } \lambda_{\beta} = \lambda_{\alpha} \frac{1/n^2 - 1/m_{\alpha}^2}{1/n^2 - 1/m_{\beta}^2} = 4,86 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 486 \text{ нм}; \quad \lambda_{\gamma} = \lambda_{\alpha} \frac{1/n^2 - 1/m_{\alpha}^2}{1/n^2 - 1/m_{\gamma}^2} \\ = 4,35 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 434 \text{ нм}; \quad \lambda_{\delta} = \lambda_{\alpha} \frac{1/n^2 - 1/m_{\alpha}^2}{1/n^2 - 1/m_{\delta}^2} = 4,10 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 410 \text{ нм}$$

70-§. ЯДРО ФИЗИКАСИ

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Куйидаги ядро реакцияларида етишмайдиган заррачаларнинг белгилари қўйиб чиқилсин:

- 1) ${}_{13}\text{Al}^{27} + {}_0n^1 \rightarrow ? + {}_2\text{He}^4;$
- 2) $? + \text{H}^2 \rightarrow {}_4\text{Be}^8 + {}_0n^1;$
- 3) ${}_{25}\text{Mn}^{55} + ? \rightarrow {}_{26}\text{Fe}^{55} + {}_0n^1.$

Ечилиши: Ядро реакциялари тенгламаларини ечишда зарядларнинг ва масса сонларининг сақланиш қонунларига асосланилади.

Биринчи реакциядаги номаълум зарранинг заряд сони Z ни ва масса сони A ни аниқлаймиз:

$$13 + 0 = Z + 2, \quad Z = 11, \\ 27 + 1 = A + 4, \quad A = 24.$$

Шундай қилиб, Менделеевнинг элементлар даврий жадвалдан массалар сони $A = 24$ ва зарядлар сони $Z = 11$ га тенг бўлган зарра ${}_{11}\text{Na}^{24}$ — натрий ядроси эканлигини топамиз.

Худди шу усул билан иккинчи реакцияда эса ${}_1\text{H}^1$ — водород ядроси — протон эканлиги келиб чиқади.

Жавоб: 1) ${}_{11}\text{Na}^{27}$ — натрий; 2) ${}_3\text{Li}^7$ — литий; ${}_1\text{H}^1$ — протон.

2-масала. Ярим парчаланish даври $T = 1620$ йил бўлган Ra радий атомлари сони $N_0 = 5 \cdot 10^8$ бўлса $t = 1$ суткада парчаланган атомлар сони ΔN топилсин.

Берилган: $N_0 = 5 \cdot 10^8$; $T = 1620$ йил = $1620 \cdot 365$ сутка;
 $t = 1$ сутка.

Топиш керак: $\Delta N = ?$

Ечилиши: t вақтдан кейинги парчаланмай қолган атомлар сони N қуйидаги формула ёрдамида аниқланади:

$$N = N_0 \cdot e^{-\frac{0,693 \cdot t}{T}},$$

бунда $e = 2,7182 \dots$ — натурал логарифм асоси (Непер сони).

Бу формуладан $\Delta N = N_0 - N$ ни топиш мумкин, яъни:

$$\Delta N = N_0 - N = N_0 \left(1 - e^{-\frac{0,693 \cdot t}{T}} \right) = N_0 \left(1 - e^{-\frac{0,693 \cdot t}{T}} \right).$$

Бунда $0,693t$ ($T \ll 1$) бўлганлиги учун $e^{-\frac{0,693 \cdot t}{T}} = 1 - \frac{0,693t}{T}$ бўлади. У ҳолда охириги ифодани қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин

$$\Delta N = N_0 \left(1 - e^{-\frac{0,693t}{T}} \right) = N_0 \left(1 - 1 + \frac{0,693t}{T} \right) = 0,693 N_0 \frac{t}{T}.$$

Масалада берилган катталикларнинг сони қийматларини ўрнига қўйиб ҳисоблаб чиқсак,

$$\Delta N = 0,693 N_0 \frac{t}{T} = 0,693 \cdot 5 \cdot 10^8 \frac{1 \text{ сут.}}{1920 \cdot 365 \text{ сут.}} = 576 \text{ та.}$$

Жавоб: $\Delta N = 576$ та.

3-масала. Уран ${}_{92}\text{U}^{235}$ изотопи ядросининг масса дефекти ΔM ва боғланиш энергияси W_6 топилсин. Углерод бирлигида уран ${}_{92}\text{U}^{235}$ изотопи атомининг массаси $M_a = 235,03941$ м. а. б. водород атоминики $m_H = 1,00783$ м. а. б. нейтронники $m_n = 1,00867$ м. а. б. массанинг атом бирлиги 1 м. а. б. = $1,66 \times 10^{-27}$ кг унга мос келган энергия эса $W_0 = 931$ МэВ м. а. б.

Берилган: $M_a = 235,04394$ м. а. б.; $m_H = 1,00783$ м. а. б.; $m_n = 1,00867$ м. а. б., 1 м. а. б. = $1,66 \cdot 10^{-27}$ кг;
 $W_0 = 931$ МэВ м. а. б., $Z = 92$; $A = 235$.

Топиш керак: $\Delta M = ?$ $W_6 = ?$

Ечилиши. Ядроларнинг массаларини энг аниқ ўлчаш тажрибаларидан маълум бўладики, ядронинг тинчликдаги массаси M_a унинг таркибидаги барча зарралар, яъни протонлар ва нейтронлар массаларининг йиғиндиси ($Zm_p + Nm_n$) дан ҳар доим кичик бўлар экан:

$$M_a < (Zm_p + Nm_n),$$

бунда Z —элементнинг тартиб номери бўлиб, ядродаги протонлар сонини кўрсатади, $N = (A - Z)$ ядродаги нейтронлар сони (бу ерда A —масса сони, яъни ядродаги нуклонлар сони) m_p —протоннинг массаси, m_n —нейтроннинг массаси.

У ҳолда ядронинг дефекти деб аталувчи массалар айирмаси қуйидагига тенг бўлади: $\Delta M = [Zm_p + (A - Z)m_n] - M_a$.

Жадвалларда одатда ядро массаси M_a эмас, балки атомининг массаси M_a берилган бўлади. Ядро массаси M_a нинг ўрнида элемент атомининг массаси M_a протон массаси m_p нинг ўрнига ${}^1_1\text{H}$ водород атомининг массаси m_H олиниши керак.

Шундай қилиб, ядро дефектининг массаси ΔM қуйидаги формула асосида ҳисобланади:

$$\Delta M = [Zm_H + (A - Z)m_n] - M_a.$$

Масалада берилган катталикларнинг сон қийматларини қўйиб, уран ядросининг масса дефекти ΔM ни ҳисоблаб чиқамиз: $\Delta M = [Zm_H + (A - Z)m_n] - M_a = 92 \cdot 1,00783 \text{ м. а. б.} + (235 - 92) \cdot 1,00867 \text{ м. а. б.} - 235,04394 \text{ м. а. б.} = 1,91623 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 3,18 \cdot 10^{-27} \text{ кг}.$

Эйнштейн назариясига биноан масса ва энергия ўзаро эквивалент бўлганлиги учун масса дефекти ΔM ҳам маълум энергия W_0 га эквивалент бўлади, яъни:

$$W_0 = \Delta M c^2.$$

(Бунда $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ — ёруғликнинг тарқалиш тезлиги). Бу энергия ядронинг боғланиш энергияси деб аталади.

Уран ядросининг масса дефекти ΔM га мос келган боғланиш энергияси W_0 ни ҳисоблаб чиқамиз:

$$W_0 = \Delta M c^2 = 3,18 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot 9 \cdot 10^{16} \text{ м}^2/\text{с}^2 = 2,86 \cdot 10^{-10} \text{ Ж}.$$

$$\frac{2,8 \cdot 10^{-10} \text{ Ж}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Ж/эВ}} = 1,79 \cdot 10^3 \text{ МэВ}.$$

Массанинг атом бирлигига тўғри келган энергияси W_0 орқали ядронинг боғланиш энергияси W_0 ни яна ҳам осонроқ ҳисоблаш мумкин:

$$W_0 = W_0 \Delta W = 931 \frac{\text{МэВ}}{\text{м. а. б.}} = 1,91623 \text{ м. а. б.} = 1,79 \cdot 10^3 \text{ МэВ}.$$

Жавоб: $\Delta M = 3,18 \cdot 10^{-27} \text{ кг}, W_0 = 2,86 \cdot 10^{-10} \text{ Ж} = 1,79 \cdot 10^3 \text{ МэВ}.$

4-масала. И. В. Курчатова номидаги Белоярск атом электр станциясининг учинчи блоки генераторининг ФИК $\eta = 40\%$ ва қуввати $N = 600 \text{ МВт}$ бўлган реакторнинг иссиқлик қуввати $N_{\text{ис}}$ ва $t = 1$ суткада ундан ажраладиган иссиқлик миқдори Q топилсин. Агар уран ${}_{92}\text{U}^{235}$ изотопи ядросининг бўлинишида $\Delta W = 200 \text{ МэВ}$ энергия ажралиб чиқса, реакторда $t = 1$ суткада қанча m массали уран сарф бўлади?

Берилган: $N = 600 \text{ МВт} = 6 \cdot 10^8 \text{ Вт}; \eta = 40\% = 0,4; \Delta W = 200 \text{ МэВ} = 3,2 \cdot 10^{-11} \text{ Ж}; t = 1 \text{ сутка} = 8,64 \cdot 10^4 \text{ с}$

Топиш керак: $N_{\text{ис}} = ? Q = ? m = ?$

Ечилиши: Уран ${}_{92}\text{U}^{235}$ изотопи ядроларининг бўлинишдан реакторда ажралган иссиқлик қуввати $N_{\text{ис}}$ ни генераторнинг қуввати N орқали қуйидаги формуладан аниқланади:

$$N_{\text{ис}} = \frac{N}{\eta} = \frac{6 \cdot 10^8 \text{ Вт}}{0,4} = 1,5 \cdot 10^9 \text{ Вт} = 1,5 \cdot 10^3 \text{ МВт}.$$

У ҳолда $t = 1$ суткада реакторда ажраладиган иссиқлик миқдори қуйидагига тенг бўлади:

$$Q = N_{\text{ис}} \cdot t = 15 \cdot 10^3 \text{ Вт} \cdot 8,64 \cdot 10^4 \text{ с} = 1,3 \cdot 10^{14} \text{ Ж.}$$

Агар уран ${}_{92}\text{U}^{235}$ изотопи атомининг массаси m_a билан белгиланса, реакторда бир суткада сарф бўладиган уран массаси m қуйидагига тенг бўлади:

$$m_a = n \cdot m_0,$$

бунда $n = \frac{Q}{\Delta W}$ суткада бўлинган уран ядроларининг сони $m_0 = \frac{\mu}{N_A}$ уран атомнинг массаси эса (бунда $\mu = 235$ кг·кмоль уранныннг моляр массаси, $N_A = 6,025 \cdot 10^{26}$ 1 кмоль Авогадро сони). У ҳол суткада сарф бўладиган уран массаси қуйидагига тенг бўлади:

$$m = n \cdot m_0 = \frac{Q}{\Delta W} \cdot \frac{\mu}{N_A} = \frac{1,3 \cdot 10^{14} \text{ Ж}}{3,2 \cdot 10^{-12} \text{ Ж}} \cdot \frac{235 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}}{6,025 \cdot 10^{26} \text{ 1 кмоль}} = 1,6 \text{ кг.}$$

Жавоб: $M_{\text{ис}} = 1,5 \cdot 10^3$ МВт, $Q = 1,3 \cdot 10^{14}$ Ж, $m = 1,6$ кг.

Мустақил ечиш учун масалалар

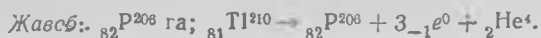
70.1. ${}_{13}\text{Al}^{27}$ алюминий ядроси ${}^1_0\text{n}$ нейтрон билан бомбардимон қилинганда ҳосил бўлган заррачаларнинг Вильсон камерасида қолдирган изи 14.1-расмда тасвирланган. Бу реакцияда α — заррача отилиб чиққан. Расмдаги 1 ва 2 излар қайси элементнинг ядроларига тегишли? Нима учун нейтроннинг изи кўринмайди?



14.1- расм

Жавоб: 1-из гелий (He) ядросига, 2 из натрий (Na) ядросига тегишли. Зарядсиз заррачалар из қолдирмайди.

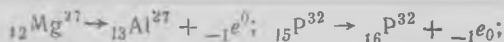
70 2. ${}_{81}\text{Tl}^{210}$ Талий изотопи ядроси уч карра кетма-кет β — парчаланишдан ва бир карра α — парчаланишдан кейин қандай элемент ядросига айланади? Парчаланиш реакцияси тенгламасини тузинг.



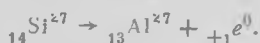
70.3. Радиоактив изотопларда протонларга қараганда нейтронлар кўп ($N > Z$) бўлган ядролар электрон (${}_{-1}e^0$) ли, яъни

β^- — радиоактивликка, нейтронларига қараганда протонлари кўп ($Z > N$) бўлган ядролар позитрон эга бўлади. Қуйидаги элементлар изотопларининг ядролари: ${}_6\text{C}^{10}$, ${}_6\text{C}^{14}$, ${}_7\text{N}^{13}$, ${}_{12}\text{Mg}^{27}$, ${}_{14}\text{Si}^{27}$, ${}_{15}\text{P}^{32}$ дан қайсилари электронли ва қайсилари позитронли радиоактивликка эга?

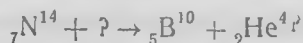
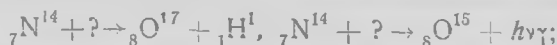
Жавоб: β^- радиоактив ядролар: ${}_6\text{C}^{14} \rightarrow {}_7\text{N}^{14} + {}_{-1}e^0$;



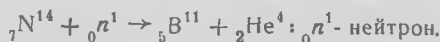
β^+ радиоактив ядролар: ${}_6\text{C}^{10} \rightarrow {}_5\text{B}^{10} + {}_{+1}e^0$; ${}_6\text{N}^{23} \rightarrow {}_7\text{C}^{13} + {}_{+1}e^0$;



70.4. Ядро реакциялари ядрони бомбардимон қилувчи заррача турига кўра тавсифланади (классификацияланади). Қуйидаги реакцияларнинг ҳар бирида бомбардимон қилувчи қандай заррачалар ишлатилган:



Жавоб: ${}_7\text{N}^{14} + {}_2\text{He}^4 \rightarrow {}_8\text{O}^{17} + {}_1\text{H}^1$: α -заррача;



70.5. ${}_{86}\text{Rn}^{22}$ Радиоактив радоннинг $N_0 = 10^6$ та атомидан $\Delta t = 1$ сутка давомида $\Delta N = 1,75 \cdot 10^5$ таси парчаланган бўлса, унинг ярим парчланиш даври T ни топинг.

$$\text{Жавоб: } T = \Delta t \frac{N_0 \ln 2}{\Delta N} = \Delta t \frac{0,693 \cdot N_0}{\Delta N} = 4 \text{ сутка.}$$

70.6. Ураннынг ${}_{92}\text{U}^{235}$ изотопи радиоактив парчланишлар натижасида қўрғошиннинг ${}_{82}\text{Pb}^{206}$ изотопига айланади. Бу реакциялардаги α - ва β - парчланишлар сони n_α ва n_β ни топинг.

$$\text{Жавоб: } n_\alpha = \frac{A_1 - A_2}{4} = \frac{238 - 206}{4} = 8; \quad n_\beta = 2n_\alpha - (Z_1 - Z_2) = 2 \cdot 8 - (92 - 82) = 6.$$

70.7. $n_\alpha = 4$ та α - парчланиш ва $n_\beta = 2$ та β - парчланишдан сўнг Th^{232} дан қандай ${}_Z\text{Y}^{A_2}$ изотоп ҳосил бўлади?

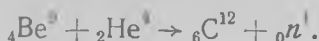
$$\text{Жавоб: } A_2 = A_1 - 4n_\alpha = 232 - 4 \cdot 4 = 216; \quad Z_2 = Z_1 + n_\beta = 90 + 2 - 2 \cdot 4 = 84. \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} {}_Z\text{Y}^{A_2} = {}_{84}\text{Po}^{216}.$$

70.8. Борнинг ${}^5_2\text{B}^{11}$ изотопи ядросининг масса дефекти ΔM ни ва боғланиш энергияси W_6 ни топинг. Углерод бирлигида борнинг ${}^5_2\text{B}^{11}$ изотопи атомининг массаси $M_a = 11,00931$ м. а. б. водород атомининг массаси $m_H = 1,00783$ м. а. б. нейтроннинг массаси $m_n = 1,00867$ м. а. б., массасининг атом бирлиги эса $m_0 = 1$ м. а. б. $= 1,66 \cdot 10^{-27}$ кг ва унга мос келган энергия $W_0 = 931$ МэВ м. а. б. $= 1,66 \cdot 10^{-27}$ кг.

$$\text{Жавоб: } \Delta M = [Zm_H + (A - Z)m_n - M_a] = 0,0816 \text{ м. а. б.} = 1,36 \cdot 10^{-28} \text{ кг.}$$

$$W_6 = W_0 \Delta M = 76,2 \text{ МэВ} = 12,2 \cdot 10^{-12} \text{ Ж.}$$

70.9. Қуйидаги ядро реакцияси энергияси Q ни топинг.



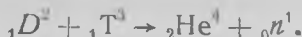
Бу реакциядаги заррачаларнинг массалари мос равишда $M_{\text{Be}} = 9,01218$ м. а. б.; $M_{\text{He}} = 4,00260$ м. а. б.; $M_{\text{C}} = 12,00000$ м. а. б. $m_n = 1,00867$ м. а. б.; $m_H = 1,00783$ м. а. б.

Массанинг атом бирлигига мос келган энергия эса $W_0 = 931$ МэВ/м. а. б. ни ташкил қилади, Бу қандай реакция?

$$\text{Жавоб: } Q = W_0[(4m_H + 5m_n - M_{\text{Be}}) + (2m_H + 2m_n - M_{\text{He}}) - (6m_H + 6m_n + m_n - M_{\text{C}})] = 5,7 \text{ МэВ}$$

экзотермик реакция.

70.10. Қуйидаги термоядро реакциясида ажраладиган энергияни топинг,



Бу реакциядаги заррачаларнинг массалари мос равишда $M_D = 2,01420$ м. а. б. $M_T = 3,01605$ м. а. б. $M_{\text{He}} = 4,00260$ м. а. б. $m_n = 1,00867$ м. а. б. бўлиб, массанинг атом бирлигига мос келган энергия $W_0 = 931$ МэВ/м. а. б.

$$\text{Жавоб: } Q = W_0[(m_H + m_n - M_D) + (m_H + 2m_n - M_T) - (2m_H + 2m_n + m_n - M_{\text{He}})] = 17,6 \text{ МэВ} = 28,2 \cdot 10^{-13} \text{ Ж} > 0 - \text{экзотермик реакция.}$$

70.11. Юлдузларда содир бўладиган термоядро (синтез) реакциясида $m_H = 50000$ кг водород $m_{\text{He}} = 49644$ кг гелийга айланганда ажраладиган энергия Q ни топинг. Ёруғликнинг тарқалиш тезлиги $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

$$\text{Жавоб: } Q = \Delta mc^2 = (m_H - m_{\text{He}})c^2 = 3,204 \cdot 10^{19} \text{ Ж.}$$

70.12. ВВЭР $= 440$ типидagi сув реактори ҳар бирининг қувваги $N_{\text{эл}} = 220$ МВт дан булган иккита ($n = 2$) турбогенера-

торни ҳаракатга келтиради. Агар ҳар $t = 1$ ойда $m = 44,55$ кг урanning ${}_{92}\text{U}^{235}$ изо­топи сарфланса, генераторнинг ФИК η ни топинг. Урanning моляр мас­саси $\mu = 235$ кг/кмоль, Авогадро сони $N_A = 6,025 \cdot 10^{26}$ ямоль $^{-1}$. Битта ${}_{92}\text{U}^{235}$ уран ядроси бў­линганда $\Delta W_0 = 200$ МэВ энергия аж­ралади.

$$\text{Жавоб: } \eta = \frac{A}{Q} = \frac{nN_{\text{эл}}t}{\Delta W_0 N} = \frac{nN_{\text{эл}}t}{\Delta W_0 N_A \frac{m}{\mu}} = \frac{nN_{\text{эл}} + \mu}{\Delta W_0 N_A m} = 0,30 = 30\%.$$

ҲОИДАЛАНИЛГАН АДАБИЕТ

1. В. П. Демкович, Л. П. Демкович. Физикадан масалалар тўплами. Урта мактабнинг 8—10 синфлари учун. Т.: «Ўқитувчи», 1975.
2. Г. Н. Рябоволов. Сборник тематических работ по физике. Минск: «Высшая школа», 1973.
3. Г. А. Бендриков, Б. Б. Буховцев, В. В. Керженцев, Г. Я. Мякишев. Физикадан масалалар. (Олий ўқув юртларига кирувчилар учун). — Т.: «Ўқитувчи», 1980.
4. И. Ш. Слободецкий, Л. Г. Асламов. Задачи по физике. — М.: «Наука», 1980.
5. Р. А. Гладкова, Н. И. Кутиловская. Физикадан савол ва масалалар тўплами. Т.: «Ўқитувчи», 1988.
6. И. П. Гурский. Элементарная физика с примерами решения задач. М.: «Наука», 1984.
7. И. М. Дубровский, Б. В. Егоров, К. П. Рябошапка. Справочник по физике. Киев.: «Наукова думка», 1986.
8. Ю. Ю. Коган. Сто задач по физике. М.: «Наука», 1986.
9. Е. И. Бутиков, А. А. Быков, А. С. Кондратьев. Физика в примерах и задачах. М.: «Наука», 1989.
10. М. П. Паскольская, И. Г. Эльцин. Сборник избранных задач по физике. М.: «Наука», 1986.
11. И. Ю. Сезонов. Сборник задач по физике. М.: «Высшая школа», 1989.
12. М. М. Исамуҳамедова, И. Ф. Камардин, Э. Н. Назиров, М. Қурбонов, Ғ. С. Султонов. Физикадан олимпиада масалалари. Т.: «Ўқитувчи», 1990.

100 QUV ZALI

МУНДАРИЖА

Сўз боши	3
Биринчи қисм. Механика	7
I боб. Кинематиканинг физик асослари	7
1-§. Тўғри чизиқли текис ҳаракат	10
2-§. Ҳаракатдаги ўртача тезлик	14
3-§. Текис ўзгарувчан ҳаракат	17
4-§. Эркин тушиш; Юқорига тик отилган жисмнинг ҳаракати	21
5-§. Эгри чизиқли ҳаракат	24
6-§. Текис айланма ҳаракат	28
II боб. Динамиканинг физик асослари	32
7-§. Тўғри чизиқли ҳаракат динамикаси	34
8-§. Импулс. Импульснинг сақланиш қонуни	38
9-§. Эластиклик кучлари. Гук қонуни	42
10-§. Ишқаланиш кучлари	45
11-§. Бутун олам тортишиш қонуни	49
12-§. Механик иш	52
13-§. Қувват	56
14-§. Кинетик энергия	59
15-§. Потенциал энергия	61
16-§. Энергиянинг сақланиш қонуни	65
III боб. Статика	69
17-§. Жисмларнинг мувозанати	70
18-§. Жисмларнинг оғирлик маркази	75

IV б о б. Сууқликлар ва газлар статикаси	
19- §. Гидростатик босим. Туташ идишлар қонуни	81
20- §. Архимед қонуни	86
И к к и н ч и қ и с м. Молекуляр физика ва термодинамика	90
V б о б. Модданинг тузилиши ва газларнинг молекуляр - кинетик назарияси	90
21- §. Модда миқдори. Атом ва молекулаларнинг масса ҳамда ўлчамлари	
22- §. Газларнинг молекуляр-кинетик назарияси асослари	96
23- §. Бойль—Мариотт қонуни	99
24- §. Гей-Люссак қонуни	103
25- §. Шарль қонуни	106
26- §. Клапейрон тенгламаси	109
27- §. Менделеев—Клапейрон тенгламаси	112
VI б о б. Иссиқлик ходисалари ва термодинамиканинг физик асослари	115
28- §. Иссиқлик миқдори	118
29- §. Эриш ва қотиш	122
30- §. Буғланиш ва конденсацияланиш	126
31- §. Ёқилғининг иссиқлик бериш қобилияти	131
32- §. Ҳавонинг намлиги	136
33- §. Термодинамиканинг физик асослари	139
34- §. Сууқлиқнинг сирт таранглиги. Капиллярлик	143
У ч и н ч и қ и с м. Электр ва магнетизм	148
VII б о б. Электростатиканинг физик асослари	148
35- §. Кулон қонуни	151
36- §. Электростатик майдоннинг кучланганлиги	154
37- §. Электростатик майдоннинг потенциали	159
38- §. Электр сифими	163
VIII б о б. Узгармас ток қонунари	167
39- §. Занжирнинг бир қисми учун Ом қонуни	171
40- §. Утказгичларни кетма-кет ва параллел улаш	176
41- §. Ёпиқ занжир учун Ом қонуни	182

42- §.	Ток манбаларини кетма-кет ва параллел улаш	187
43- §.	Токнинг иши, қуввати ва иссиқлик таъсири	194
44- §.	Электродитларда электр токи	199
IX б о б.	Электромагнетизмнинг физик асослари	203
45- §.	Параллел тоқларнинг ўзаро таъсири	207
46- §.	Тоқли контурнинг магнит моменти	211
47- §.	Ампер кучи	214
48- §.	Лоренц кучи	218
49- §.	Ўзгармас тоқнинг магнит майдони	213
50- §.	Магнит индукция оқими	216
51- §.	Электромагнит индукция қонуни	224
52- §.	Ўзиндукция ҳодисаси	233
53- §.	Моддаларнинг магнит хоссалари	236
54- §.	Тоқнинг магнит майдони энергияси	239
Т ў р т и н ч и қ и с м.	Тебранишлар ва тўлқинлар	243
X б о б.	Тебранишлар ва тўлқинларнинг физик асослари	243
55- §.	Механик тебранишлар	245
56- §.	Механик тўлқ ишлар	250
57- §.	Электромагнит тебранишлар	254
58- §.	Электромагнит тўлқинлар	258
XI б о б.	Ўзгарувчан тоқ физикаси асослари	262
59- §.	Ўзгарувчан тоқ қонунилари	263
60- §.	Трансформаторлар	269
Б е ш и н ч и қ и с м.	Оптика. Атом ва ядро физикаси	274
XII б о б.	Геометрик оптика	274
61- §.	Еруғликнинг тўғри чиқиқли тарқалиши	275
62- §.	Еруғликнинг қайтиш қонуни	281
63- §.	Сферик кўзгулар	285
64- §.	Еруғликининг синиш қонуни. Тўла ички қайтиш ҳодисаси	289
65- §.	Йиғувчи ва сочувчи линзалар	293
66- §.	Оптик асбоблар	299

XIII б о б. Ёруғликнинг тўлқин ва квант табиати	304
67- §. Ёруғликнинг тўлқин табиати	306
68- §. Ёруғликнинг квант табиати. Фотоэффект ҳодисаси	308
XIV б о б. Атом ва ядро физикаси асослари	314
69- §. Атом физикаси	317
70- §. Ядро физикаси	322
Фойдаланилган адабиёт	323

ЎҚУВ ЗАЛИ

**ЭЛЕМЕНТАР ФИЗИКА
МАСАЛАЛАРИ**

**МАНСУР ИСМОИЛОВ,
МАХМУД ГАБИДОВИЧ ХАЛИУЛИН**

Тошкент «Ўқитувчи» 1993

Бўлим мудири *У. Хусанов*

Муҳаррирлар: *Ю. Музаффархўжаев, Х. Пўлатхўжаев.*

Кичик муҳаррир *Х. Зоиржонова*

Расмлар муҳаррири *Н. Сучкова*

Тех. муҳаррир *Т. Скиба*

Мусаҳҳиҳа *М. Маҳмудхўжаева*

ЎҚУВ ЗАЛИ ИБ № 5376

ЧИТАЛЬНЫЙ ЗАЛ

ЎҚУВ ЗАЛИ

Теришга берилди 27.12.91. Босишга рухсат этилди 28.05.93! Бичим 60x90/16. Тип. қоғоз.
Кегли 10 шпонсиз. Литературная гарнитураси Юқори босма усулида босилди. Шартли
с. л. 21. Шартли кр.-отт. 21,25. Нашр л. 16,94. Нусхада 25000. Буюртма № 610.

«Ўқитувчи» нашриёти. Тошкент, Навоий кўчаси, 30. Шартнома № 0.9—344—90

Область газеталарининг М. В. Морозов помидаги бирлашган нашриёти ва босмахонаси,
Самарқанд ш. У. Турсунов кўчаси, 82. 1993.

Исмоилов М., Халиулин М. Г.

Элементлар физика масалалари: Урта мактаб, ўрта махсус ва ҳунар-техника билим юрт., олий ўқув юрт. Тайёрлов бўлимлари учун қўлл. — Т.: Уқитувчи, 1993. — 336 б.

1. Автордош.

Исмаилов М. И., Халиулин М. Г.

Сборник задач по физике.

ББК 22.3я7

